



## **Modelo de Negocios de la compañía Photon**

Trabajo de Fin de Máster presentado para optar al Título de Máster Universitario en Dirección Financiera por Antonio Manuel Dorado Santana, siendo tutor del mismo el Dr. D. Félix Jiménez Naharro.

Vº. Bº. del Tutor:

Dr. D. Félix Jiménez Naharro

Alumno:

D. Antonio Manuel Dorado Santana

Sevilla, junio de 2021

# **MÁSTER UNIVERSITARIO EN DIRECCIÓN FINANCIERA**

## **FACULTAD DE TURISMO Y FINANZAS**

### **TRABAJO DE FIN DE MÁSTER CURSO ACADÉMICO [2020-2021]**

**TÍTULO:**

**MODELO DE NEGOCIOS DE LA COMPAÑÍA PHOTON**

**AUTOR:**

**ANTONIO MANUEL DORADO SANTANA**

**TUTOR ACADÉMICO:**

**Dr. D. FÉLIZ JIMÉNEZ NAHARRO**

**RESUMEN:**

El presente trabajo se origina como consecuencia de una solicitud realizada para poner en valor y crear una empresa basada en la tecnología LiDAR sobre la que están investigando y sobre la que hay una serie de inversores potenciales interesados en ella. Para ello necesitan un plan de negocio y una valoración de su proyecto con el que poder negociar con los posibles inversores. Este trabajo se ha dividido en dos partes: plan de negocio (comportamiento de la empresa cualitativa y cuantitativamente durante los próximos años y bajo un escenario definido) y la valoración (se centrará en el proceso de valoración y se establecerá un rango de valor razonable para el proyecto de dicha compañía).

**PALABRAS CLAVE:**

Modelo de negocio, tecnología LiDAR, sensores CMOS-SPAD, sector de referencia, I+D+i, inversores, EBC.

**ABSTRACT:**

This work originates as a result of a request made to value and create a company based on LiDAR technology on which they are investigating and on which there are a number of potential investors interested in it. For this they need a business plan and an assessment of their project with which they can negotiate with potential investors. This work has been divided into two parts: business plan (qualitative and quantitative behavior of the company over the next few years and under a defined scenario) and valuation (it will focus on the valuation process and a fair value range will be established for the project of said company).

**KEYWORDS:**

Business model, LiDAR technology, CMOS-SPAD sensors, reference sector, R+D+i, investors, Knowledge Enterprise.



## **Modelo de Negocios de la compañía Photon**

### **Declaración de Originalidad del TFM**

D/Dña. Antonio Manuel Dorado Santana, con DNI/NIE 47346895-S, declaro que el presente trabajo de Investigación es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citadas debidamente. Para que conste así, lo firmo en Sevilla, a 23 de junio de 2021.

D,/Dña.: Antonio Manuel Dorado Santana

Doy mi autorización a la Biblioteca de la Facultad de Turismo y Finanzas para que mi Trabajo de Fin de Máster:

### **Modelo de negocios de la compañía Photon**

Sea consultado según las modalidades abajo indicadas (marque con una x las opciones elegidas):

- ☒ Préstamo interbibliotecario
- ☒ Reproducción parcial
- ☒ Reproducción total
- ☒ Otros términos: tipo de usuarios, autorización previa, etc.

Sevilla, a 23 de junio de 2021.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA .....</b>	<b>2</b>
<b>3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO .....</b>	<b>3</b>
<b>PLAN DE NEGOCIO.....</b>	<b>5</b>
<b>4. LA EMPRESA: PHOTON .....</b>	<b>5</b>
4.1. ANTECEDENTES .....	5
4.2. EQUIPO.....	6
4.3. MODELO DE NEGOCIO.....	9
<b>5. TECNOLOGÍA .....</b>	<b>17</b>
5.1. PROPUESTA DE LA TECNOLOGÍA .....	17
5.2. Madurez y horizonte temporal de la tecnología .....	18
<b>6. EL SECTOR DE LA TECNOLOGÍA LIDAR .....</b>	<b>20</b>
6.1. EL SECTOR .....	20
6.2. EL SECTOR EN CIFRAS.....	25
<b>7. SECTOR DE REFERENCIA .....</b>	<b>27</b>
7.1. INTRODUCCIÓN.....	27
7.2. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA ECONÓMICA .....	31
7.3. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA FINANCIERA .....	35
7.4. ANÁLISIS DE LA CUENTA DE RESULTADOS .....	36
<b>8. ESTRATEGIAS Y PLAN DE VIABILIDAD .....</b>	<b>40</b>
8.1. INTRODUCCIÓN.....	40
8.2. SITUACIÓN ACTUAL.....	40
8.3. ESTRATEGIA DE MERCADO .....	41
8.4. ESTRATEGIA FINANCIERA .....	44
8.5. ESTRATEGIA DE CIRCULANTE .....	45
8.6. ESTRATEGIA DE CAPITAL.....	45

<b>VALORACIÓN .....</b>	<b>48</b>
<b>9. VALOR MÍNIMO .....</b>	<b>48</b>
<b>10. VALOR RAZONABLE .....</b>	<b>48</b>
<b>10.1. CASH FLOW LIBRE PARA EL ACCIONISTA.....</b>	<b>48</b>
<b>10.2. RIESGO O TASA DE ACTUALIZACIÓN .....</b>	<b>49</b>
<b>10.3. VALOR DE CONTINUIDAD .....</b>	<b>51</b>
<b>ANEXO 1: COMPARATIVA DE SISTEMAS LIDAR PARA AUTOMOCIÓN .....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXO 2: EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE LOS SENSORES CMOS-SPAD EN EL IMSE-CNM .....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXO 3: EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE LOS SENSORES CMOS-SPAD EN EL IMSE-CNM .....</b>	<b>65</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>67</b>

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 4.1. Modelo de Negocio Resumido.....	11
Figura 4.2. Modelo de Negocio Canvas .....	16
Figura 6.1. Análisis Fundamental (tp-down).....	20
Figura 6.2. Pronóstico para el mercado LIDAR y Automóvil.....	25
Figura 6.3. Tamaño del mercado mundial LIDAR en el sector del Automóvil .....	26
Figura 6.4. Nº patentes publicadas tecnología LIDAR en 2018 .....	26
Figura 7.1. EBITDA primeros años de vida del sector (valle de la muerte.....	29
Figura 7.2. Vida del sector .....	30
Figura 7.3. Histograma de la vida del sector .....	30
Figura 7.4. Distribución de número de empleados del sector .....	31
Figura 7.6. Inmovilizado Inmaterial/Activo No corriente .....	33
Figura 7.7. Periodo Medio de Existencias.....	33
Figura 7.8. Periodo Medio de Cobro.....	34
Figura 7.9. Periodo Medio de Pago .....	34
Figura 7.10. Fondos Propios/Recursos Totales.....	35
Figura 7.11. Pasivo no Corriente/Recursos Totales.....	36
Figura 7.12. Ventas del Sector .....	37
Figura 7.13. Aprovisionamiento/Ventas del Sector.....	37
Figura 7.14. Gasto de Personal/Ventas del Sector .....	38
Figura 7.15. Otros gastos de Explotación/Ventas del Sector .....	38
Figura 7.16. EBITDA del Sector .....	39
Figura 8.1. Balance de Creación.....	41
Figura 8.2. Ventas estimadas próximos cinco años .....	42
Figura 8.3. Costes de Explotación estimados próximos cinco años .....	43
Figura 8.4. EBITDA estimado para los próximos cinco años.....	43

Figura 8.5. Estrategia Financiera próximos cinco años.....	44
Figura 8.6. Cuentas de Pérdidas y Ganancias próximos cinco años .....	44
Figura 8.7. Cuadro de Circulante próximos cinco años .....	45
Figura 8.8. Presupuesto de Capital próximos cinco años .....	46
Figura 8.9. Balances Previsionales próximos cinco años .....	47
Tabla 9.1. Valor Mínimo.....	48
Figura 10.1. Cash Flow Libre próximos cinco años .....	49
Tabla 10.2. Beta Cualitativa .....	50
Figura 10.3. Estimación tasa de riesgo .....	50
Figura 10.4. Cash Flow Libre actualizados próximos cinco años .....	51
Figura 10.5. Valor del Proyecto.....	51
Figura 10.6. Intervalos de Valoración del Proyecto.....	52
Figura 10.7. Intervalos de Valoración del Proyecto.....	52
Figura 10.8. Resumen de Valoración del Proyecto/Tecnología.....	53



## 1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se origina como consecuencia de una solicitud que nos hacen un catedrático de la Universidad de Sevilla e investigadores del CSIC para poner en valor y crear una empresa basada en la tecnología LIDAR sobre la que están investigando y sobre la que hay una serie de inversores potenciales interesados en ella. Ellos necesitan un plan de negocio y una valoración de su proyecto con el que poder negociar distintas alternativas con los posibles inversores.

El plan de negocios es un documento que permite al emprendedor (en este caso el nuevo proyecto de Empresa de Base de Conocimientos: PHOTON) analizar la situación actual del mercado, sector y entorno en el que desarrollará su actividad. El plan de negocios recoge tal información y permite al emprendedor presentar su negocio a posibles inversores, aceleradoras, etcétera.; y explicar cómo será su arranque y los siguientes pasos que seguirá en un futuro. Por lo tanto, se puede decir que se trata de un documento vivo que tiene que estar siempre actualizado, debido a que el mercado, sector y entorno de la compañía varía con el paso del tiempo (Milián, M., 2021).

- El plan de negocios sirve de hoja de ruta y análisis estratégico.
- Permite conocer el sector y la competencia.
- Ayuda a la comprobación de la coherencia interna del proyecto.
- Estudia la viabilidad técnica y económica del proyecto.
- El plan de negocios facilita la comunicación de la idea a posibles inversores, socios, etcétera, para así poder conseguir la inversión necesaria para el desarrollo o arranque de sus actividad.

El presente documento se estructura en dos partes bien diferenciadas: plan de negocio y valoración. Cada parte se estructura en los siguientes puntos.

Plan de Negocio:

- La empresa
  - Antecedentes
  - Equipo
  - Modelo de Negocio
- Tecnología
- Sector de Actividad
- Sector de Referencia
- Estrategias y Plan de Viabilidad

Valoración:

- Valor Mínimo
- Valor Razonable

## 2. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

El objetivo de este trabajo académico es realizar un modelo de negocios para un nuevo proyecto de EBC (Empresa de Base en Conocimientos) cuyo nombre es Photon. Con dicho modelo de negocio se trata de explicar cómo será su arranque y los siguientes pasos que deberá seguir la compañía en un futuro (en este caso los 5 próximos años), además de la valoración del proyecto de empresa Photon y el conocimiento y/o tecnología que dicha empresa puede desarrollar y comercializar. Principalmente este plan de negocios tiene la misión de facilitar la comunicación de la idea a posibles inversores, socios, etcétera, para así poder conseguir la inversión necesaria para el desarrollo o arranque de sus actividad.

Para ello se han establecido una serie de objetivos específicos como son los siguientes:

- Sintetizar el modelo de negocio en dos vertientes: una resumida basada en la investigación y el mercado, y la otra vertiente basada en la metodología Canvas.
- Analizar el sector de referencia tanto cuantitativa como cualitativamente.
- Definir un escenario con unas estrategias para los próximos 5 años.
- Comprobar la viabilidad del proyecto.
- Valorar el proyecto.
- Establecer un rango de valor razonable para el proyecto.

El principal motivo que nos ha llevado a la elaboración de este trabajo académico, ligado a la confección del modelo de negocio para una iniciativa empresarial denominada Photon, ha sido la solicitud que nos hicieron un catedrático de la Universidad de Sevilla e investigadores del CSIC. Esto es debido a que estas personas tenían la intención de poner en valor y crear una empresa cuya base se sustenta en la tecnología LIDAR, sobre la cual están investigando y sobre la que existen unos inversores potenciales que han mostrado el interés en ella. Con dicha inversión aportada por dichos inversores podrían llevar a cabo la materialización en un prototipo, con el cual poder salir al mercado, de su investigación. Para negociar con estos inversores necesitan este modelo de negocio que hemos elaborado.

Otro de los motivos que nos ha llevado a la elaboración de dicho trabajo ha sido la aplicación del temario impartido en la asignatura de Valoración de Empresas e Intangible (correspondiente al Máster de Dirección Financiera) en una empresa real, profundizando así mis conocimientos acerca de dicha materia.

### 3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Para el plan de negocio hemos seguido el proceso que mejor se ajusta para cuantificar el escenario futuro de la empresa y, además, que nos permita conseguir la información correspondiente para una correcta valoración.

Existen numerosas fórmulas y métodos para el cálculo de la valoración de una empresa, así existen muchas finalidades de los citados cálculos, las cuales en la mayoría de los casos inciden en el valor final.

En nuestro caso, el cálculo del mismo tiene una sola causa: conocer el valor razonable de la empresa o proyecto de empresa en los términos arriba indicados, así como el del conocimiento derivado del valor de la empresa o proyecto de empresa. Este resultado es para que sea utilizado por el Vicerrectorado de Innovación Social y Emprendimiento de la Universidad de Málaga en su labor de identificar a las Spin-Off y EBC de la Universidad de Málaga.

En base a lo indicado, el método de cálculo utilizado es el llamado método científico de descuento de flujos (utilizando como variable representativa de los flujos el *Equity Free Cash-Flow*) combinado con simulación de escenarios (análisis fundamental). Por otro lado, para estimar el riesgo hemos utilizado el modelo *Capital Asset Price Model* modificado, combinando datos del mercado con datos de la empresa y sector.

A pesar de las limitaciones que pueda tener dicho método, pues no hay ningún método perfecto, dentro de los métodos científicos usados en el mercado, es el más razonable desde un punto de vista financiero; éste se basa en determinar la renta que potencialmente podrían recibir los accionistas con el paso del tiempo sin poner en peligro el equilibrio financiero de la empresa. O sea, la renta que podría dar la empresa sin poner en peligro el futuro de la misma. El valor de la empresa va a depender de lo que podamos recibir de ella.

Es un método que tiende a valorar la empresa no como un conjunto patrimonial o contable, sino como lo que es, es decir, una organización de elementos productivos capaz de generar rentas futuras derivadas de sinergias (fondos de comercio, *good-will*, etc).

Además del descuento de flujos utilizamos simulación de escenarios, opciones reales y múltiples comparativos.

Los métodos utilizados se encuadran dentro de la metodología desarrollada por el Análisis Fundamental, que se caracteriza por:

1.- La valoración es a largo plazo, se valora en función de la renta que la empresa pueda generar a lo largo de su vida en un escenario definido. El horizonte de valoración se divide en previsible y no previsible, el primero viene definido por el plan de negocio y se circunscribe para los próximos cinco años y el no previsible a partir del sexto año en adelante,

2.- La tasa de actualización es constante y anual y se identifica con el riesgo del proyecto o rentabilidad que los accionistas deben exigir a la empresa y, finalmente,

3.- La renta utilizada es el *cash flow* libre desde el punto de vista del accionista (*Equity Free Cashflow*).

Obviamente no podemos dejar atrás los componentes más fríos propios de los métodos basados en el patrimonio empresarial y documentación contable, aportando este cálculo una barrera referencial que impide carencias en el valor real, objetivo y pericial.

Como ya hemos apuntado, los métodos seleccionados son los más razonables desde el punto de vista financiero, además de ser los métodos más utilizados por los distintos analistas financieros. Además, de ser el método que puede ser más sensato también es el que permite comunicar los resultados con mayor facilidad sin perderse en vericuetos y explicaciones excesivamente técnicas que dificulta el entendimiento del informe y, por tanto, el poder compartir los resultados emitidos por el mismo.

Respecto a la documentación e información utilizada en la elaboración del informe es la siguiente:

- Cuentas anuales de las empresas del sector debidamente depositadas en el Registro Mercantil.
- Informes Sectoriales de Marketline, Fitch Solutions, Statista, entre otros.
- Plan de Negocio, listado de posibles competidores, Pequeño resumen del desarrollo del negocio proporcionado por Componente nº1 (apartado 4.2 de este trabajo académico).
- Entrevista con Componente nº 1 y Componente nº 2.
- Comparativa con otras empresas del sector

Sin embargo, se han encontrado una serie de limitaciones en la búsqueda de información debido a la escasez de empresas que conforman el sector de referencia al tratarse de un sector innovador y con poca madurez.

## PLAN DE NEGOCIO

En esta parte del documento desarrollaremos el plan de negocio, cuyo objetivo fundamental es identificar la empresa, el perfil del equipo (en este estadio de la empresa este punto es fundamental), comprender su modelo de negocio, analizar el comportamiento del sector donde desarrolla la actividad, para finalmente definir un escenario con unas estrategias para los próximos años y comprobar si el proyecto es viable o no. Toda la información derivada del plan de negocio la utilizaremos en la segunda parte del documento, proceso de valoración. En resumen, vamos a ver cómo se va a comportar la empresa tanto cualitativa como cuantitativamente durante los próximos años y bajo un escenario definido.

## 4. LA EMPRESA: PHOTON

### 4.1. ANTECEDENTES

PHOTON<sup>1</sup>. es una iniciativa empresarial que tiene la **misión** de hacer llegar a la sociedad el fruto de varios años de investigación en sensores de imagen inteligentes.

Photon es una empresa que se crea con objeto de convertirse en un referente tecnológico del sector automovilístico, nace en el Grupo de Microelectrónica Analógica y de Señal Mixta (TIC179) del Instituto de Microelectrónica de Sevilla (IMSE). Este grupo de investigación es mixto, de modo que los investigadores pertenecen bien a la Universidad de Sevilla o bien al CSI. El IMSE es también un centro mixto de la US y el CSIC. El TIC179 cubre tres grandes líneas: i) sensores de imagen inteligentes y chips de visión; ii) sistemas bio-médicos e interfaces cerebro-máquina; iii) interfaces de señal-mixta para sistemas de comunicación de alta velocidad. El origen del conocimiento descrito se vincula a las actividades de la primera de estas líneas.

Los proyectos en los que se ha desarrollado la tecnología son los siguientes:

- Sensores de Imagen Inteligentes en Tecnologías CMOS-3Dwstack de Chips Apilados. A. Rodríguez-Vázquez (IP), INNFACTO, IPT-2011-1625-430000, 2011-14
- Design of High-Performance Heterogenous, Ultra High-Speed Celular Sensor-Processors for Multi-Spectral Light Sensing. A. Rodríguez-Vázquez (IP), Office Naval Research (USA), NICOP N000141110312, 2011-13
- iCaveats: Integración de Componentes y Arquitecturas para la Visión Embebida en Aplicaciones de Transporte y Seguridad. R. Carmona-Galán (IP), TEC2015-66878-C3-1-R, Ministerio de Economía Industria y Competitividad, Spain, 01/2016-12/2018.

---

<sup>1</sup> PHOTON, es un nuevo proyecto de EBC (Empresa de Base de Conocimientos).

- Sistemas de Visión On-Chip para la Captura de Imágenes a Alta Velocidad, Alto Rango Dinámico y Alta Resolución, basados en Arquitecturas Celulares e Híbridas. A. Rodríguez-Vázquez (IP), CSIC, 07/2015-06/2018.
- Hybrid Cellular Architectures and Circuits for High-Sensitivity, High-Speed, High-Resolution Vision Systems With Reduced Swap. A. Rodríguez-Vázquez (IP), N00014-14-1-0355, Office of Naval Research, USA, 07/2014-06/2017.
- Smart CIS3D. Sensores de Imágenes Inteligentes para Captación de Tiempos de Vuelo y Análisis Embebido de Imágenes 3D. A. Rodríguez-Vázquez (IP), P12-TIC-2338, Junta de Andalucía, Spain, 01/2014-01/2018.
- MONDEGO: Surveillance and Monitoring Based on Low-Power Integrated Vision Devices. R. Carmona-Galán (IP), TEC2012-38921-C02-01, Ministerio de Economía y Competitividad, Spain, 01/2013-12/2015.

En estos proyectos se han generado también otros activos de conocimiento, tecnología y propiedad intelectual, todos relacionados con los sensores de imagen inteligentes, aunque esta iniciativa empresarial se circunscribe en principio al conocimiento asociado al diseño y uso de SPADs.

## 4.2. EQUIPO

El equipo promotor de PHOTON proviene del Grupo de Investigación en Circuitos de Entrefase y Sistemas Sensores Integrados (I2CASS) del Instituto de Microelectrónica de Sevilla, centro mixto del CSIC y la Universidad de Sevilla.

Es un grupo interdisciplinar, compuesto por investigadores e investigadores con experiencia en el ámbito profesional. Los principales promotores del proyecto son los siguientes (aunque por tema de privacidad, los nombres de estas personas, al igual que sus fotos no aparecerán en este trabajo académico):



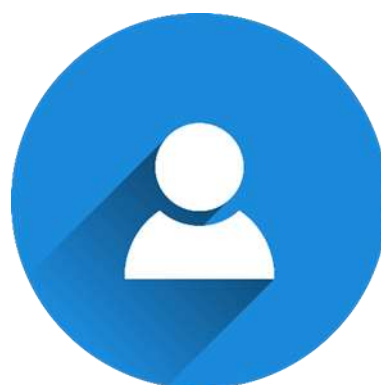
**Componente nº 1**

Científico Titular CSIC



**Componente nº 2**

Catedrático Univ. Sevilla



**Componente nº 3**

Dra. Ingeniera PHOTON

Componente nº 1 y Componente nº 2 dan asesoramiento científico y están definiendo las líneas de producto e iniciando la búsqueda de clientes y socios estratégicos. Por otro lado,

Componente nº 3 está desarrollando la prueba de concepto y va a contribuir a especificar los prototipos para la fase posterior, así como al diseño del sistema demostrador.

A continuación, resumimos el perfil de los tres promotores que forman el equipo de Photon:

- **Componente nº 2:**

Sus actividades de I+D+i han buscado siempre equilibrar el avance del conocimiento con el desarrollo industrial. Co-fundó el Instituto de Microelectrónica de Sevilla/CNM-CSIC y puso en marcha una unidad de investigación sobre Diseño de Circuitos Analógicos y de Señal-Mixta de Altas Prestaciones. Dirigió esta unidad durante 15 años, hasta 2004, formando a tres generaciones de doctores que trabajan actualmente en OPIs y en la industria.

Durante este período, su investigación se centró en sistemas bio-inspirados para aplicaciones de visión y control, y en sistemas dinámicos no-lineales para aplicaciones de comunicaciones y encriptación. Su grupo concibió nuevas arquitecturas para chips de señal-mixta y diseñó unos treinta prototipos de dichos chips en el marco de distintos proyectos de I+D+i, financiados en su mayoría por la Comisión Europea y por la Oficina de Investigación Naval de los Estados Unidos, así como en el marco de contratos directos con la Industria. Estos chips incluyeron tres generaciones de sensores inteligentes para cámaras de visión ultra-rápidas, interfaces de acondicionamiento de señal para MoDems alámbricos e inalámbricos, convertidores analógico-digital (ADCs) para comunicaciones y sensores de automoción, circuitos para generación de señales caóticas en encriptación y comunicaciones seguras, MoDems completos para comunicaciones por las líneas de potencia de baja tensión, etc. Muchos de estos chips definieron el estado-del-arte en sus respectivos campos, lo que quedó refrendado por numerosas publicaciones de primer nivel, invitaciones a impartir conferencias plenarias y otros indicadores. Algunos de los chips diseñados por su grupo entraron en producción masiva.

Su equipo hizo también contribuciones importantes en metodologías y herramientas para el diseño de circuitos de señal-mixta, incluyendo la construcción de una herramienta para análisis simbólico que fue transferida a la industria, la elaboración de cursos industriales que recibieron la etiqueta de calidad de EUROPRACTICE, y la producción de dos libros ampliamente citados sobre diseño CMOS de convertidores sigma-delta.

Entre 2004 y 2009 pasó a la industria, con excedencia parcial, para trabajar como Director General de Innovaciones Microelectrónicas S.L. ([www.anafocus.com](http://www.anafocus.com)), una compañía de base tecnológica cofundada bajo su iniciativa personal junto con miembros de su grupo. En este período, la empresa creció desde 2 empleados hasta 50, y alcanzó el umbral de la madurez como una compañía de ámbito mundial especializada en el diseño y producción de sensores de imagen CMOS inteligentes y sistemas de visión en un solo chip. Esta compañía es en la actualidad un referente internacional en el sector de los sensores de imagen inteligentes para aplicaciones “high-end” y ha alcanzado la estabilidad mediante su incorporación al grupo e2v ([www.e2v.com](http://www.e2v.com)) en 2014.

Ha recibido numerosos premios por Mejores Artículos, por Mejores Proyectos de I+D+i internacionales, y por su actividad empresarial. Ha servido como Editor, Editor Asociado y Editor Invitado para diferentes publicaciones internacionales; está en el comité de muchas revistas y conferencias internacionales; y ha presidido conferencias internacionales del IEEE y SPIE. Ha sido VP-Región 8 del IEEE-CASS (2009-2012) y Presidente del Comité IEEE-CASS para la Evaluación de IEEE Fellows (2010, 2012, 2013, 2014 y 2015).

- **Componente nº 1:**

Componente nº 1 recibió los grados de Licenciado (B. Sc.) Y Doctor (Ph. D.) en Física Electrónica de la Universidad de Sevilla, España, en 1993 y 2002, respectivamente. Él diseñó su primer chip, un sensor de imagen CMOS inteligente que ofrece la transformación de radón de un imagen de entrada binarizada con un umbral automático, como su proyecto de graduación. Desde 1994 hasta 1996 fue alumno de posgrado en el Instituto de Microelectrónica de Sevilla. Posteriormente, a partir de julio 1996 a junio de 1998, trabajó como asistente de investigación en el laboratorio del Prof. Chua en la EECS Departamento de la Universidad de California, Berkeley. De 1999 a 2005 fue Asistente Profesor del Dpto. de Electrónica y Electromagnetismo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Sevilla. Enseñó “Análisis y síntesis de circuitos” y “Laboratorio de síntesis de circuitos” y “Microsistemas de procesamiento sensorial inteligente”. Se le otorgó un Certificado de Excelencia Docente por la Universidad de Sevilla.

Desde 2005 es Científico Titular del CSIC en el Instituto de Microelectrónica de Sevilla. Su área de investigación principal son los generadores de imágenes CMOS inteligentes para aplicaciones de visión de baja potencia como robótica, navegación de vehículos y redes de sensores inalámbricos habilitados para la visión. También está interesado en estructuras de detección compatibles con CMOS para imágenes LWIR y MWIR, detección de fotón único, y detectores de rayos X y física de altas energías. Ha diseñado varios chips de visión, algunos implementando dinámicas no lineales bioinspiradas que emulan el comportamiento de la retina. Él también realizó un Postdoctorado en la Universidad de Notre Dame, Indiana (2006-07), en el laboratorio del Prof. Porod, donde estudió las interfaces para nanoestructuras compatibles con CMOS para luz multiespectral sensorial. Actualmente es profesor de "Circuitos de interfaz para sensores integrados" en MSc y PhD Programas en la Universidad de Sevilla.

Componente nº 1 es autor de más de 160 artículos en revistas especializadas y congresos. y varios capítulos de libros y ha recibido premios al mejor artículo del Int. J. de circuito Teoría y aplicaciones, la conferencia de imágenes electrónicas IS & T / SPIE sobre sensores de imagen y el Comité Técnico de Sistemas Sensoriales del IEEE ISCAS. Fue co-receptor de una premio de la ACET en 2002. Posee varias patentes y ha colaborado con empresas start-up en Sevilla (AnaFocus) y Berkeley (Eutecus).

Ha sido Secretario de la Asociación del Personal Investigador y Docente de la Universidad de Sevilla (ADIUS). Fue miembro del Senado Universitario y Consejo de la Universidad. Actualmente es el Secretario de la Asamblea de Personal Científico del IMSE. Es un miembro senior del IEEE, y pertenece a las Sociedades de Circuitos y Sistemas, Circuitos de Estado Sólido. También es miembro de los comités técnicos de ACM, HiPEAC e IEEE-CASS sobre Redes celulares a nanoescala y computación de matrices y en sistemas sensoriales, de los cuales es Secretario electo. También pertenece al IEEE Sensors Council. Se ha desempeñado como Asociado Editor del IEEE Transactions on Circuits and Systems-I para el período 2012-13. Actualmente es editor asociado del Journal of Real-Time Image Processing de Springer. Además, es miembro del comité de dirección del Taller de Arquitectura de Cámaras Inteligentes. Ha sido el Presidente General de ICDSC 2015 en cooperación con ACM SIGBED.



Es el coordinador de ACHIEVE-ITN, una red de formación innovadora (H2020 Marie Skłodowska-Curie Action) dedicada a la investigación sobre hardware / software avanzado y componentes para sistemas de visión integrados / embebidos.

- **Componente nº 3:**

Componente nº 3, Dra. Ingeniera en Electrónica y socia en el proyecto, obtuvo el doctorado en la Universidad Politécnica Gheorghe Asachi de Iasi, Rumanía. Sus trabajos se habían centrado en el estudio de la propagación de las señales en una red inalámbrica de sensores, implementada mediante motas inteligentes y FPGA. Ha trabajado con el grupo en el diseño de hardware digital y de interfaces de adquisición de datos y de control. Tiene una amplia experiencia en el desarrollo de plataformas de testado y caracterización de sensores basados en CMOS-SPAD. Está desarrollando la prueba de concepto y va a contribuir a especificar los prototipos para la fase posterior, así como al diseño del sistema demostrador.

### 4.3. MODELO DE NEGOCIO

En este punto vamos a sintetizar el modelo de negocio en dos vertientes: una resumida basándonos en la investigación y el mercado y la otra siguiendo la metodología Canvas.

Un modelo de negocio es el mecanismo por el cual el negocio de este proyecto empresarial, basado en el conocimiento (EBC), crea, capta y proporciona valor, generando con ello los respectivos ingresos y beneficios, para poder desarrollar y consolidar la iniciativa económica y empresarial, y garantizando así la respectiva transferencia del conocimiento científico al mercado, desde la Universidad.

El **modelo de negocio** de **Photon** se sustenta sobre dos grandes pilares igual de importantes, cada uno en su justa medida:

**1º- Modelo de negocio basado en la investigación:** Photon es un proyecto de empresa generadora de investigación. Esta investigación se basa en desarrollar chips inteligentes para adquisición de imágenes 2D/3D en base a detectores de fotones aislados (SPADs), servicios de ingeniería para la integración de esos chips en sistemas, con las tecnologías LIDAR y servicios de ingeniería para el diseño a medida de chips de este tipo. El desarrollo de esta tecnología está sustentado en la aplicación de la patente “Método y dispositivo de detección de pico del histograma comprimido de los valores de píxel en sensores de tiempo de vuelo de alta resolución”.

**2º.- Modelo de Negocio basado en el mercado.** Una vez que Photon ha desarrollado su labor investigadora, Photon ha conseguido reunir un gestor y equipo de trabajo que consiga concienciar a sus investigadores de la importancia del mercado para Photon, consiguiendo acercar la investigación al mercado y buscando nuevos nichos que le permiten acceder a mercados que hace unos años eran impensables. Esto se consigue gracias a un gestor con capacidad de motivación y dirección y en algunas ocasiones, como lo exige el sector en el que está enmarcado, con un nivel de riesgo controlado, ya que sin esta actitud se pueden perder muchas oportunidades.

Debido a que para poder desarrollar en toda su plenitud el prototipo del proyecto y comenzar a rentabilizarlo se necesita un mínimo de dos años, el equipo de Photon ha desarrollado una serie de servicios y actividades más inmediatas que le permiten obtener ingresos recurrentes y, por lo tanto, financiar la actividad principal del proyecto hasta que ésta pueda comenzar a generar renta y permita su autofinanciación.

Estos servicios lo podemos resumir en:

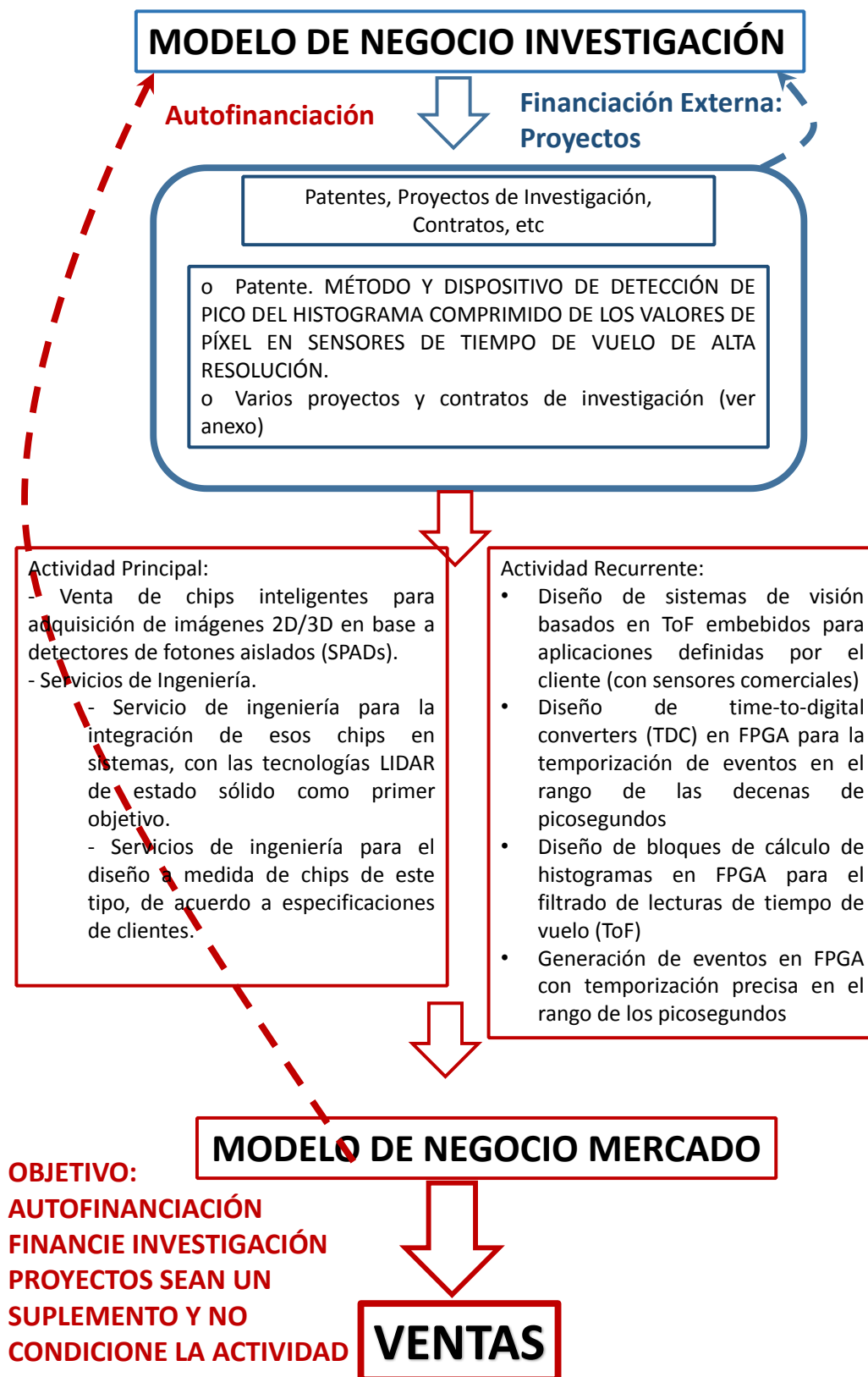
- Diseño de sistemas de visión basados en ToF embebidos para aplicaciones definidas por el cliente (con sensores comerciales)
- Diseño de time-to-digital converters (TDC) en FPGA para la temporización de eventos en el rango de las decenas de picosegundos
- Diseño de bloques de cálculo de histogramas en FPGA para el filtrado de lecturas de tiempo de vuelo (ToF)
- Generación de eventos en FPGA con temporización precisa en el rango de los picosegundos

Todas estas actividades consisten en el diseño de bloques de circuito digitales que pueden prototiparse en FPGA (field-programmable gate arrays). Las FPGA son dispositivos programables a muy bajo nivel, o sea, que incluso se define la arquitectura el circuito que hay debajo. Por establecer un símil, dentro de una FPGA tenemos un montón de bloques de construcción, en este caso bloques de circuitos lógicos, los cuales pueden ordenarse para implementar diferentes circuitos. La diferencia con un microprocesador convencional (CPU) o gráfico (GPU) es que en estos la arquitectura está ya fijada y sólo modificamos el software, el programa, que corren. En la FPGA definimos primero el circuito que hay debajo y luego añadimos el software si es necesario. Con esto conseguimos que la arquitectura del circuito esté adaptada al tipo de procesamiento que vamos a realizar, consiguiendo un mayor rendimiento (número de operaciones por segundo) y eficiencia (menor energía por operación).

Un sistema sobre una FPGA, lo que se conoce como sistema embebido o empotrado, está a mitad de camino entre una solución en software programada sobre un procesador convencional, o sea, un ordenador corriendo un programa, y un hardware específico. En el primer caso tendremos problemas de rendimiento y de eficiencia, y en el segundo los costes y tiempos de desarrollo son muy grandes

En cuanto a la investigación principal, ésta se va a rentabilizar mediante el desarrollo y la aplicación de los siguientes servicios:

- Venta de chips inteligentes para adquisición de imágenes 2D/3D en base a detectores de fotones aislados (SPADs).
- Servicios de Ingeniería.
  - o Servicio de ingeniería para la integración de esos chips en sistemas, con las tecnologías LIDAR de estado sólido como primer objetivo.
  - o Servicios de ingeniería para el diseño a medida de chips de este tipo, de acuerdo a especificaciones de clientes.



*Figura 4.1. Modelo de Negocio Resumido*

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por promotores.

Si seguimos la metodología Canvas el modelo de negocio lo podemos representar siguiendo los nueve bloques que muestran la lógica de cómo una empresa pretende hacer dinero. Los nueve bloques cubren las cuatro áreas principales de un negocio: clientes, oferta, infraestructura y viabilidad financiera.

Los nueve bloques son los siguientes:

### **Segmento de mercado**

El bloque correspondiente al segmento de mercado define los distintos grupos de personas u organizaciones a los cuales una empresa apunta a alcanzar y/o servir.

Dentro de los diferentes segmentos de mercado se destaca el nicho de mercado, debido a que estos modelos enfocan segmentos de mercados específicos y especializados, como es el caso de Photon. Esta afirmación viene dada porque para Photon el mercado LiDAR es el objetivo principal.

Aunque, los sensores CMOS-SPAD pueden tener aplicación también en otros ámbitos en los que la estimación directa del ToF resulta fundamental, como la imagen médica PET, la microscopía basada en el tiempo de vida de la fluorescencia y la detección de partículas en física de altas energías.

También hay que destacar que los primeros chips comerciales de PHOTONVIS van a ser diseños ad hoc contra unas especificaciones propuestas por los clientes. Por lo cual cumple también otra de las características del tipo de segmento de mercado que comentamos (nicho de mercado) como es: “La proposición de valor, los canales de distribución y las relaciones con los clientes todas se diseñan para los requerimientos específicos del nicho de mercado”.

Posibles clientes:

- Laboratorios de física de partículas (CERN)
- Imagen médica y microscopía
- Grupos de investigación en computación y comunicaciones cuánticas
- Empresas de desarrollo de instrumentación
- Desarrolladores de sistemas LiDAR
- imagen médica, la medicina nuclear, etc y multitud de aplicaciones basadas en ToF.

### **Proposición de valor**

La propuesta/proposición de valor es el núcleo de la razón de existir de una empresa, y es tu manera de satisfacer las necesidades del cliente y diferenciarse de la competencia.

Los principales elementos a destacar de la propuesta de valor de PHOTON son los siguientes:

- Novedad: los sensores CMOS-SPAD desarrollados por PHOTON son sensores de área, lo que permite incrementar la resolución espacial. Además, la calibración es electrónica y permite la corrección por software. Y por último hay que destacar que realizan la estimación directa del ToF, lo cual mejora la precisión en el cálculo de las distancias, reduce la tasa de refresco y aumenta el alcance total.

- Personalización: PHOTON además de centrarse en la tecnología LiDAR prestará servicios de ingeniería para el diseño a medida de chips inteligentes para adquisición de imágenes 2D/3D en base a detectores de fotones aislados (SPADs). Todo esto de acuerdo a las especificaciones de los clientes.
- Reducción de costos: ayudar a los clientes a reducir costos es una manera importante de crear valor, en el caso de PHOTON los sensores CMOS-SPAD desarrollados integran la funcionalidad en el chip sensor reduciendo el coste del sistema.
- Precio: ofertar productos similares a un precio reducido es una manera común de satisfacer las necesidades de un segmento de clientes sensitivos al precio. PHOTON fabrica los sensores CMOS-SPAD en una tecnología CMOS standard, lo que garantiza un precio muy asumible.
- Saber combinar actividad principal (a más largo plazo) con servicios recurrentes (a corto plazo). Esto le permite a la empresa evitar posibles problemas financieros.

Finalmente, podemos decir que Photon consigue estos objetivos a través de un equilibrio entre I+D+i y el mercado. Photon es un proyecto que ha conseguido **profesionalizar la investigación**.

### **Canales**

Photon es una EBC que surge del CSIC y la Universidad de Sevilla, es un EBC fundamentalmente técnica por lo que su mercado son empresas especializadas. Por todo ello, los canales deben ser fundamentalmente directos y se debe apoyar en instituciones públicas y primeros clientes para escalar y poder conseguir una cartera sostenible de clientes. Para ello, es fundamental que se presente en foros especializados donde se presente la tecnología que desarrolla.

Además, también sería aconsejable desarrollar una web o interface amigable que le permita llegar a posibles clientes especializados y ya identificados en el segmento de mercado.

Una vez conseguido el cliente, en la fase de postventa Photon puede ofrecer servicios suficientes que le permita al cliente aprovechar al máximo la tecnología adquirida.

### **Relaciones con los clientes**

La relación con los clientes busca la fidelización, es una relación personal donde hay un continuo feedback entre Photon y el cliente, lo que a Photon le permite mejorar de una forma progresiva sus productos y servicios, tanto en tecnología como “imagen”, y al cliente obtener una mayor satisfacción por el mejor aprovechamiento de los servicios.

### **Fuente de ingresos**

Photon es un proyecto que busca crecer por autofinanciación, a largo plazo su principal fuente de recursos serán las ventas. No obstante, la actividad de Photon está muy ligada a la consecución de proyectos y otras fuentes de financiación pública (autonómica, nacional e internacional), éstos son recursos que pueden apoyar el desarrollo de Photon, pero su principal objetivo debe ser vender, vender, vender, vender, ....

Entre las ventas podemos distinguir entre ventas a más largo plazo:

- Venta de chips inteligentes para adquisición de imágenes 2D/3D en base a detectores de fotones aislados (SPADs).

- Servicios de Ingeniería: entre los que destacan los siguientes servicios:
  - Servicio de ingeniería para la integración de esos chips en sistemas, con las tecnologías LIDAR de estado sólido como primer objetivo.
  - Servicios de ingeniería para el diseño a medida de chips de este tipo, de acuerdo a especificaciones de clientes.

Ventas a corto, que le permitan ingresos recurrentes:

- Diseño de sistemas de visión basados en ToF embebidos para aplicaciones definidas por el cliente (con sensores comerciales)
- Diseño de time-to-digital converters (TDC) en FPGA para la temporización de eventos en el rango de las decenas de picosegundos
- Diseño de bloques de cálculo de histogramas en FPGA para el filtrado de lecturas de tiempo de vuelo (ToF)
- Generación de eventos en FPGA con temporización precisa en el rango de los picosegundos

### **Recursos claves**

El bloque de recursos claves describe los más importantes activos requeridos para hacer funcionar el modelo de negocios. Dentro de los recursos claves destacaremos los siguientes:

- Intelectual: en el caso de Photon serían las patentes. Ejemplos de estas patentes son<sup>2</sup>:
  - El canal de lectura para el cómputo del histograma con un uso de memoria reducido está patentado. La patente se solicitó a la OEPM el 5 de septiembre de 2019, con número de referencia de la solicitud: PXXXXXXXXX. El título de la patente es: “Patente LiDAR nº1” y los inventores son Persona Ajena nº 1 (Universidad de Sevilla), Componente nº 1 (CSIC) y Componente nº 2 (Universidad de Sevilla). El CSIC es propietario del 80% de la patente mientras que la Universidad de Sevilla es propietaria del 20%.
  - Esta patente recibió un Informe del Estado de la Técnica favorable en 20 de agosto de 2019, encontrándose actividad inventiva en todas sus reivindicaciones. Se solicitó la extensión PCT de esta el día 4 de septiembre de 2019, con Núm. PCT/ESXXXX/XXXXXX.
- Humano: Es uno de los recursos más importantes, el éxito de este grupo de personas radica en el equilibrio existente entre la actividad investigadora y profesional, como ya hemos podido comprobar cuando nos hemos referido al equipo de este proyecto.
- Físicos y Financieros: los recursos físicos necesarios sería aquella tecnología necesaria para poder fabricar los siguientes elementos:
  - Sensores CMOS-SPAD en una tecnología CMOS para sensores de imagen con una eficiencia del 5% a los 905nm y del 10% a los 850nm.
  - TDCs per pixel con una resolución en torno a los 150ps (~4.5cm).
  - Un canal de filtrado de las lecturas del píxel en FPGA con memoria reducida.

Para ello sería necesario poseer recursos financieros para poder adquirir dicha tecnología. Estos recursos se obtendrán a través de la autofinanciación (con la venta de chips y la prestación de servicios), la aportación de inversores externos, proyectos de investigación y

---

<sup>2</sup> Destacar que los nombres de las patentes, así como su referencia y el nombre de sus autores no aparecen debido a la confidencialidad de estos.

financiación pública (autonómica, nacional e internacional) que se deberán solicitar para poder llevar a cabo dicha inversión y, así, hacer frente a todas sus necesidades de inversión.

### **Actividades claves**

El bloque de Actividades Claves describe las cosas más importantes que una empresa debe hacer para que un modelo de negocios funcione. En este caso las actividades claves de la compañía serían tal y como dijimos anteriormente la venta de chips y la prestación de servicios, con lo cual la compañía podría generar una serie de ingresos con los cuales poder invertir en I+D+i para el desarrollo del prototipo deseado.

Lo que debemos tener siempre presente es buscar el equilibrio entre actividades más a corto e inmediatas que permiten tener una recurrencia que cubra las necesidades de liquidez con la actividad más largo que es donde más se va a diferenciar la empresa y que le va a dar más valor, aunque se necesite algo más de tiempo para comenzar a rentabilizarla.

### **Sociedades claves**

El bloque de Sociedades Claves describe la red de proveedores y socios que hacen que un modelo de negocios funcione. En el caso de Photon las sociedades claves serían:

- La Universidad de Sevilla y el CSIC: debido a que estos poseen las patentes necesarias para el desarrollo del prototipo que se desea alcanzar.
- Inversores privados: ya que, como comentamos anteriormente, Photon necesita una serie de recursos financieros para poder llevar a cabo el desarrollo de su prototipo.
- Administraciones Públicas: gracias a las cuales se podría obtener una serie de ayudas o subvenciones.

### **Estructura de costes**

Los costes de Photon vienen condicionados por:

- El desarrollo del prototipo, la financiación de estos costes se debe buscar por fuentes externas.
- Prestación de servicios, estos costes deberían ser cubiertos por las ventas.

Por otro lado, al estar Photon en el ámbito de la Universidad de Sevilla y CSIC puede contar con recursos que otras empresas independientes le es más difícil acceder.

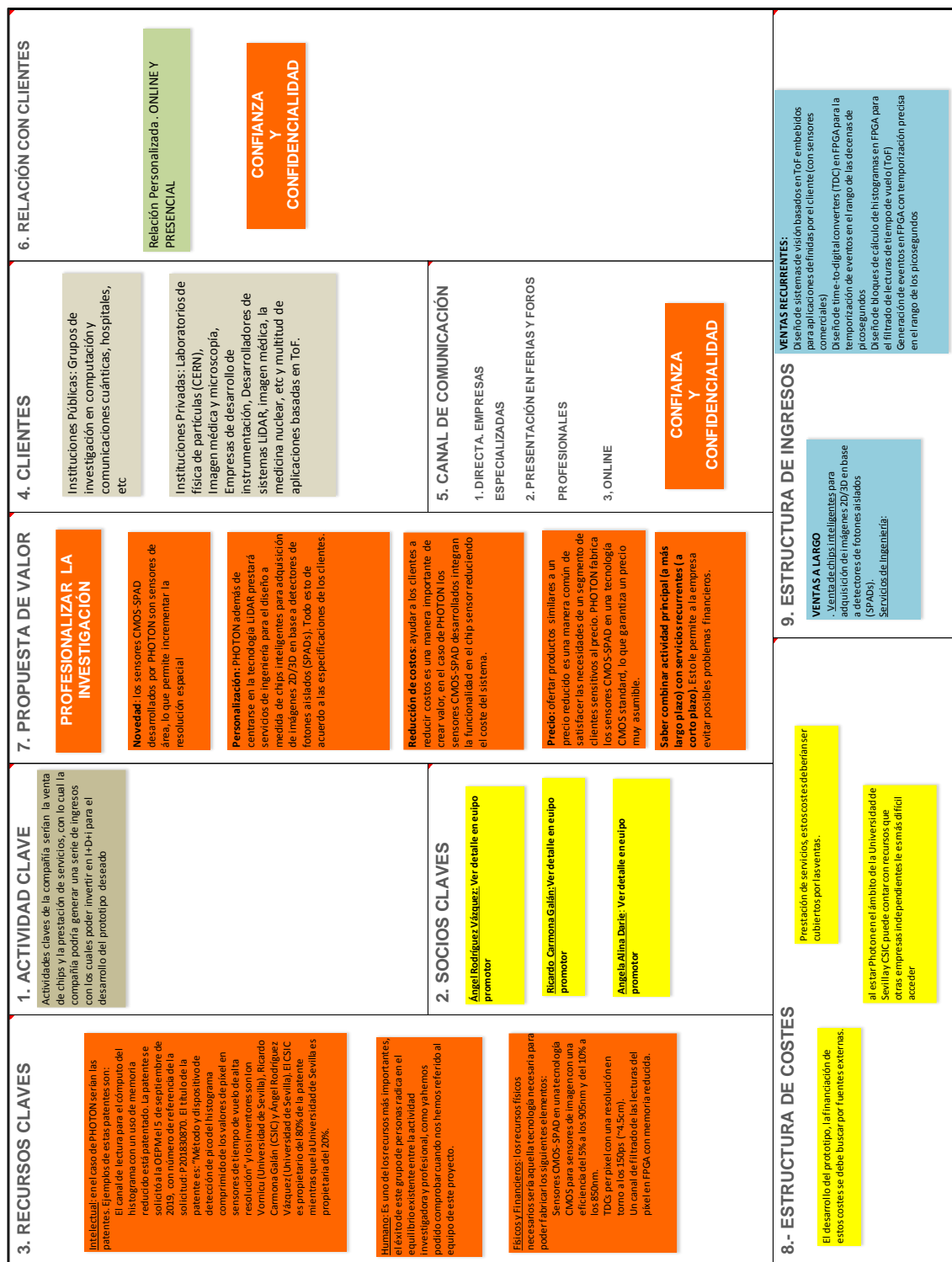


Figura 4.2. Modelo de Negocio Canvas

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por promotores.



## 5. TECNOLOGÍA

### 5.1. PROPUESTA DE LA TECNOLOGÍA

La visión artificial es hoy en día una tecnología habilitadora clave en un amplio rango aplicaciones. La introducción de tecnologías avanzadas de detección en combinación con el procesamiento masivo de información va a permitir, por ejemplo, el desarrollo de vehículos sin conductor, plataformas de transporte inteligente y robots móviles autónomos.

La **propuesta tecnológica** de Photon consiste en el desarrollo de sensores de imagen CMOS-SPAD con procesamiento on-chip para la extracción de información 3D de la escena, mediante la estimación directa del tiempo de vuelo (ToF)<sup>3</sup> en cada píxel. Estos sensores son una pieza fundamental del LiDAR<sup>4</sup> de estado sólido, que viene a sustituir a los sistemas actuales que consisten en el escaneo mecánico solidario de un puntero láser y un sensor de punto.

La **visión** de este proyecto es convertir a Photon en uno de los principales proveedores de sensores para LiDAR. El elevado coste de los sistemas actuales supone una barrera para la adopción. La incorporación de estos sensores permitiría dotar de un LiDAR con un coste asequible a vehículos de cualquier gama y, en general, a cualquier tipo de plataforma robótica, abriendo la puerta al desarrollo de aplicaciones más allá del dominio de la automoción, por ejemplo, en campos como la robótica y la industria aeronáutica y aeroespacial.

En la actualidad se trabaja en una prueba de concepto de la propuesta tecnológica de Photon. Se trata del desarrollo de un sistema LiDAR prototipo a partir de los resultados previos. Por un lado, se han diseñado una fuentes de luz a partir de módulos láser comerciales. En la parte receptora, se han incorporado los tres componentes desarrollados por el grupo: la matriz de fotodetectores, el TDC y el bloque de filtrado de las lecturas. Esta prueba de concepto va a permitir:

- Anticipar cuál será el rendimiento de una versión integrada del sistema,
- Establecer la ruta tecnológica para la mejora progresiva de las prestaciones,
- Realizar una comparación precisa con los posibles competidores.

El sistema resultante constituye un MVP de baja fidelidad que permitirá establecer vías de contacto y comunicación con posibles clientes y socios estratégicos para la definición de un prototipo a gran escala. El proyecto acerca por tanto al TRL4.

Los acuerdos entre Photon, el CSIC y la Universidad de Sevilla van a permitir el desarrollo de la ruta tecnológica definida tras la prueba de concepto. Un aspecto fundamental de la propuesta tecnológica de Photon es la escalabilidad de la arquitectura del sensor. El análisis de las prestaciones observadas durante la prueba de concepto va a determinar cuál es el

---

<sup>3</sup> ToF: time of flight.

<sup>4</sup> Light detection and ranging

ámbito de aplicación más adecuado y va a establecer cuáles son los compromisos entre inversión y resultados que pueden esperarse.

En este contexto, bien sea en los sistemas LiDAR para automoción (ver Anexo 1) o en sistemas con aplicación en robótica y en la industria (ver Anexo 2), identificamos una tendencia general a la detección directa del tiempo de vuelo y al uso de sensores de área, bien con el escaneo de punteros o bien con iluminación flash.

En el análisis que realizan algunos proveedores de componentes, por ejemplo, Analog Devices Inc., aún no está claro cuál será la tecnología que va a prevalecer en esta carrera por el LiDAR de estado sólido: NIR o SWIR, Si o GaAs, ToF directo o indirecto, modulación por pulsos o continuous-wave, etc. Debido a esto son muy conservadores a la hora de apostar por cualquiera de las tecnologías competidoras y prefieren continuar dando soporte a varias de ellas en paralelo. Por parte de los OEMs, el planteamiento es muy sencillo: mismas o mejores prestaciones a un precio asequible. Por contactos con posibles clientes, integradores de sistemas LiDAR para la industria, sabemos que en el campo de la aeronáutica existen múltiples aplicaciones que no se exploran por los costes inasumibles de los sistemas LiDAR actuales, tanto por el precio inicial como por la limitada vida útil de los sistemas basados en elementos mecánicos.

## 5.2. MADUREZ Y HORIZONTE TEMPORAL DE LA TECNOLOGÍA

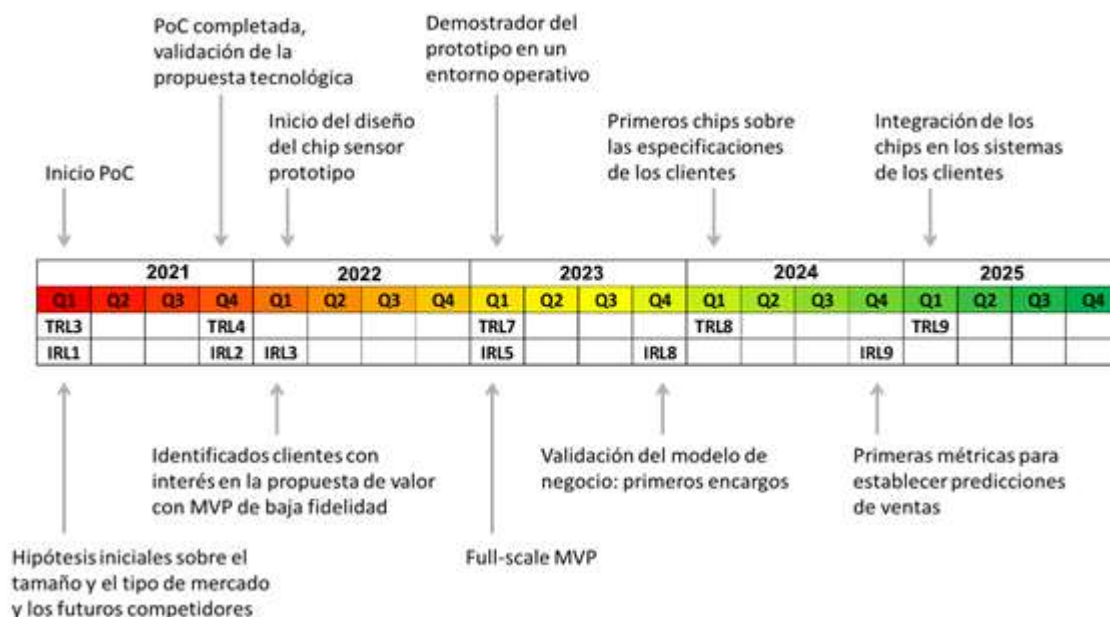
A continuación, se hablará de la **madurez y el horizonte temporal** de dicho proyecto empresarial. Photon nace en el seno del Instituto de Microelectrónica de Sevilla (CSIC-Universidad de Sevilla). El equipo promotor ha desarrollado varios píxeles con sensibilidad mejorada en el infrarrojo cercano, convertidores time-to-digital (TDC) con una resolución temporal en el rango de los 100ps y ha patentado un canal de procesamiento de señal para cada píxel (ver Anexo 3). En este momento se trabaja en una prueba de concepto, que consiste en un prototipo a escala de un sistema LiDAR a partir de estos elementos. En el aspecto tecnológico, por tanto, el proyecto se encuentra en un nivel de madurez<sup>5</sup> TRL3. Ya se han superado varias pruebas experimentales y se trabaja en la validación de la tecnología en el laboratorio. La evolución de la tecnología dentro de este Plan de Empresa pasa por la validación del sistema a escala a final de 2023, con lo que se alcanzaría un TRL4 (*ver timeline*).

A continuación, se va a diseñar un chip sensor prototipo que integrará todos los componentes, con el fin de montar un prototipo demostrador en un entorno operativo (TRL7) para principios de 2023. En este punto, Photon estaría en condiciones de mostrar las capacidades de sus sensores a potenciales clientes, y podría recibir los primeros encargos. Esos primeros chips, contruidos sobre las especificaciones de los clientes, estarían disponibles a principios de 2024 y serían los primeros sistemas completos y calificados (TRL8). La integración de los chips en los sistemas del cliente se completaría a principios de 2025 (TRL9). Estos chips serán la base de futuros productos estándar, cuya implantación va

---

<sup>5</sup> Los niveles de madurez tecnológica (TRL: technology readiness levels) son una herramienta desarrollada por la NASA en los años 70 para estimar la madurez de una tecnología para su adquisición. Van desde el TRL1, en el que se han observado y documentado los principios básicos, al TRL9, que corresponde a un sistema real probado en un entorno operativo (Colaboradores de Wikipedia, 2021, febrero 17).

a depender de la propia evolución de los posibles escenarios de aplicación de los sistemas LiDAR.



**Figura 5.1. Timeline del proyecto**

Fuente: Elaborado por los promotores.

En cuanto al nivel de preparación para la inversión<sup>6</sup>, este proyecto empresarial se encuentra en un nivel IRL1. Se han concretado las hipótesis iniciales sobre el tamaño y el tipo de mercado y los futuros competidores. Se ha realizado un análisis genérico de la propuesta de valor a partir de experiencias anteriores y de la observación de tendencias en el mercado. Se trabaja en la actualidad en una predicción analítica del valor para el mercado mediante el contacto con clientes y socios tecnológicos potenciales. Se prevé alcanzar el IRL2 e IRL3, en paralelo a la consecución del TRL4, previsto para finales de 2021. Para entonces, se habrían identificado algunos clientes con interés en la propuesta de valor, materializada en un producto mínimo viable de baja fidelidad (sistema LiDAR prototipo a escala). El trabajo con estos clientes permitirá definir un producto mínimo viable de alta fidelidad (IRL5). La validación del modelo de negocio (IRL8) se alcanzaría con los primeros encargos de chips basados en las especificaciones de los clientes lo largo de 2023. Las primeras métricas que van a permitir unas previsiones de venta a más largo plazo (IRL9) van a estar disponibles en 2024.

Los principales objetivos estratégicos en este momento son:

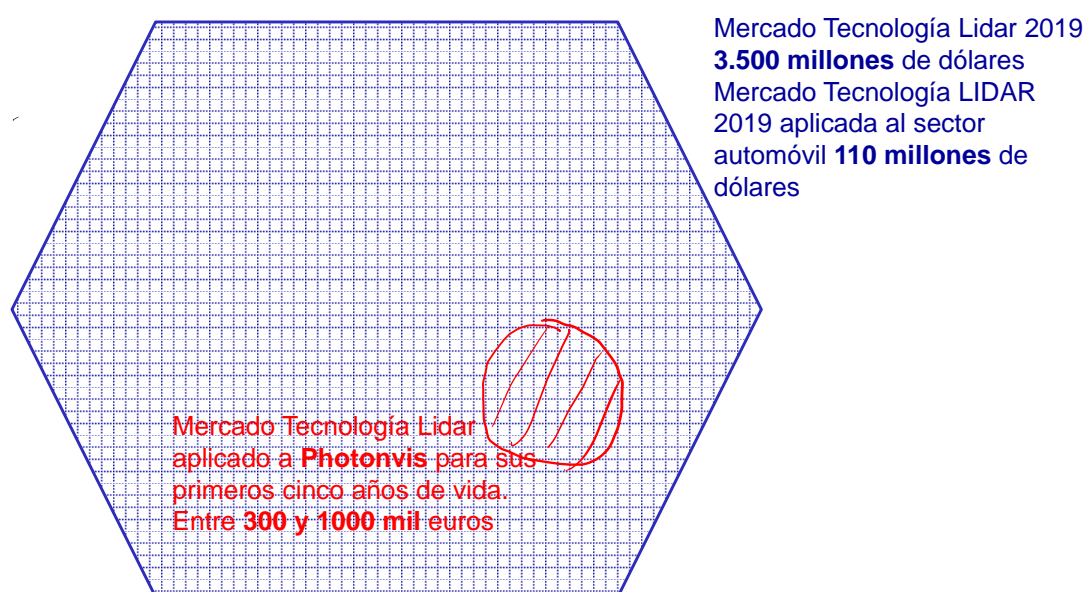
- La consolidación de la propuesta tecnológica y el inicio del diseño del chip sensor prototipo.
- La identificación de potenciales clientes a partir del sistema de la prueba de concepto (lo-fi MVP).

<sup>6</sup> Los niveles de preparación para la inversión (IRL: investment readiness level) son a su vez una herramienta para evaluar los proyectos empresariales nacida en el contexto de las start-ups. Van desde las hipótesis iniciales sobre los diferentes elementos del canvas del modelo de negocio (IRL1) a la identificación de métricas que determinan la salud económica y financiera del proyecto (IRL9). (Arjona, 2015).

## 6. EL SECTOR DE LA TECNOLOGÍA LIDAR

### 6.1. EL SECTOR

En este punto siguiendo el proceso de la metodología de Análisis Fundamental (top-down), vamos a describir el sector, en términos generales, donde se contextualiza el proyecto Photon y, en el siguiente apartado, analizaremos el sector de referencia, ya en términos cuantitativos, analizando las empresas referencia para Photon (figura 5.1).

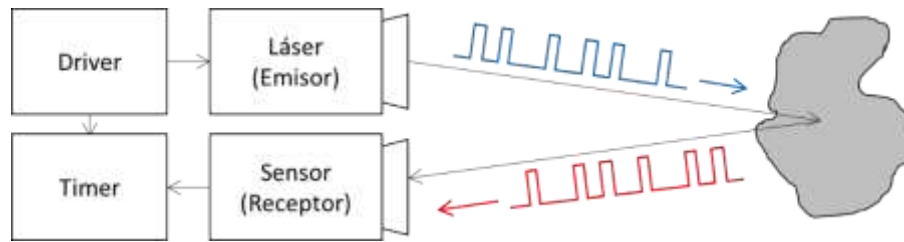


*Figura 6.1. Análisis Fundamental (tp-down)*

Fuente: Elaboración propia.

Los sistemas LiDAR (*Light Detection and Ranging*) que dominan el mercado en la actualidad consisten en el escaneo mecánico de un detector unidimensional o sensor de punto<sup>7</sup>, en las direcciones horizontal y vertical con el fin de obtener una representación tridimensional de la escena. Los pulsos de luz emitidos por el láser se reflejan en los objetos y son detectados por el sensor (Colaboradores de Wikipedia, 2021 mayo 5). La medida del tiempo de vuelo (ToF) de los fotones permite determinar con precisión la distancia a la que se encuentran estos objetos:

<sup>7</sup> También conocido como laser range finder: LRF



La sustitución del sensor de punto por un sensor de área CMOS-SPAD permite cubrir una zona amplia del campo visual y prescindir por tanto del escaneo mecánico. De este modo se reduce el coste del montaje y la calibración pasa a ser electrónica, de modo que sus resultados pueden almacenarse en memoria y utilizarse para la corrección de errores en software. Los sensores CMOS-SPAD pueden trabajar también con múltiples punteros o incluso con iluminación flash de toda la escena, dado que la detección se realiza en paralelo en toda la matriz de sensores.

Otra gran ventaja de los sensores CMOS-SPAD es la integración de funcionalidad en el propio chip sensor. El uso de tecnologías CMOS permite la incorporación de bloques de procesamiento de señal en el mismo sustrato que la matriz de píxeles. La inclusión de múltiples TDCs permite realizar la detección en un grupo de píxeles en paralelo, ya sea una línea, una columna, una región de la imagen o la propia imagen completa. Del mismo modo, la inclusión del filtrado de las lecturas de los TDCs supone la integración completa del canal de lectura en el propio chip sensor, con lo que se reduce el número de componentes del sistema. En un esquema convencional, la unidad receptora, consta de diversos componentes: diodos de avalancha, amplificadores de transimpedancia, convertidores A/D y una FPGA de alta gama para el procesamiento de la señal<sup>8</sup>. Frente a esto, un sensor de imagen CMOS con toda funcionalidad extendida que podamos incorporar, va a tener un coste de fabricación entre los \$4 y los \$10<sup>9</sup>.

¿Cuál puede ser el impacto de la introducción de estos sensores en el coste total del sistema? En 2017, Waymo lanzó el primer prototipo de *Google Self-Driving Car*, con un sistema LiDAR de Velodyne (HDL-64E), basado en el escaneo de un LRF, cuyo precio rondaba los \$75,000<sup>10</sup>. La eliminación progresiva de elementos mecánicos, tanto en la emisión de pulsos de luz como en la recepción, ha permitido que el mismo fabricante anuncie la aparición de un sistema LiDAR de estado-sólido para automoción (Velabit) para mediados de 2020, por sólo \$100, en línea con los precios que se trazaron como objetivo en la alianza por el LiDAR a un precio asequible<sup>11</sup>. Si equiparamos la relación coste/precio en un sistema LiDAR con la que encontramos en un *smartphone*, que viene a ser de un 40-45%<sup>12</sup> del precio final, podemos entender la importancia de los aspectos antes mencionados. A esto habría que añadir la reducida vida útil de los sistemas basados en el escaneo mecánico, lo cual puede suponer una barrera para su implantación en muchos campos de aplicación.

<sup>8</sup> R. Kapuska (2019, noviembre), "ADI: The collapse of the LiDAR Processing chain", LIDAR Automotive Conf.

<sup>9</sup> R. Thusu (2012, 1 febrero), "The Growing World of the Image Sensors Market", Fierce Electronics,

<sup>10</sup> E. Granath (2020 marzo), "LiDAR systems: costs, integration, and major manufacturers", MES Insights

<sup>11</sup> D. Krambeck (2016, septiembre) "The Affordable LiDAR Movement: Researchers Aim to Drastically Reduce Sensor Costs", All About Circ. Sep. 2016

<sup>12</sup> Song Su-hyun (2020, junio) "[Chew on I.T.] What makes up smartphone prices?", The Korea Herald

Los sensores CMOS-SPAD desarrollados por el nuevo proyecto EBC (empresa de base de conocimiento), a partir de ahora se pasará a llamar Photon:

- Son sensores de área, lo que permite incrementar la resolución espacial.
- La calibración es electrónica y permite la corrección por software.
- Integran funcionalidad en el chip sensor reduciendo el coste del sistema.
- Se fabrican en una tecnología CMOS standard, lo que garantiza un precio muy asumible.
- Realizan la estimación directa del ToF, lo cual mejora la precisión en el cálculo de las distancias, reduce la tasa de refresco y aumenta el alcance total.

Frente a otras técnicas para la estimación de la distancia mediante el uso de ondas electromagnéticas (ondas de radio y microondas) o de otro tipo (ultrasonidos), la propuesta de Photon resulta competitiva ya que:

- El principal problema de estas técnicas es la baja resolución espacial, debida principalmente a la longitud de la onda con la que se realiza la medida.
- Se necesita un láser de menos potencia que las técnicas basadas en la estimación indirecta del ToF, lo que se traduce en un mayor alcance.
- Se necesita menos potencia de cómputo para generar la representación 3D de la escena que las técnicas basadas en triangulación.
- El montaje del sistema es mucho más compacto, no requiere elementos mecánicos de precisión ni se necesita escanear el sensor.
- Frente a sensores desarrollados en tecnologías específicas, principalmente en semiconductores III-V, el coste del chip es bastante asumible por una tecnología estándar basada en silicio.

A continuación, se hablará sobre la tecnología LiDAR en el sector automovilístico y sobre el nuevo proyecto EBC Photon el cual es un proyecto multidisciplinar enmarcado en sectores como el de semiconductores y automovilístico, dos sectores muy distintos pero que se complementan muy bien y de los que se pueden obtener muchas sinergias. El sector del automóvil es un sector más tradicional e importante en el mercado español, aunque con un crecimiento bajo y consolidado, la innovación a través de sectores como el que nos ocupa sirve para diferenciarse, ganar imagen de marca y aumentar sus ventas.

Así, Photon es una empresa de base de conocimientos que utiliza los sensores y semiconductores para innovar dentro del sector del automóvil, generando productos con más calidad, productos más diferenciados en el mercado, productos que se puedan vender a un mayor precio porque también aportan elementos diferentes a los consumidores, donde prima la calidad y la seguridad.

Respecto a los vehículos autónomos, han sido clasificada en seis niveles diferentes por la SAE (siglas en inglés de la Sociedad de Ingenieros de Automoción). La actualización más reciente es el estándar J3016 (Terol M., 2021):

Los tres primeros niveles de la SAE para los vehículos autónomos **(0 al 2) incluyen características de asistencia al conductor**. Mientras tanto, los tres últimos **(3 al 5) incluyen características reales de automatización**.

Aparte de la evolución que tendrá la tecnología LiDAR en los sistemas ADAS (explicados con anterioridad), en concreto, los sistemas LiDAR serán imprescindibles en los vehículos

autónomos personales de nivel 4 y 5, y también en todos los vehículos comerciales con capacidades de conducción autónoma (camiones, autobuses, taxis...).

A continuación, se explicarán de forma breve los diferentes niveles en los que se clasifican los vehículos autónomos:

- El **nivel 0** de los vehículos autónomos no se automatizan las acciones del conductor (principal característica presente en los niveles 0 y 1), y sus principales características son las siguientes:

- El conductor realiza todas las tareas y maniobras.
- El vehículo puede incluir sensores o radares que notifican al conductor de eventos y objetos cercanos.
- Los coches en este nivel no incluyen ningún tipo de control autónomo.

- Los **vehículos autónomos de nivel 1** incluyen sistemas que controlan la dirección, la velocidad y el frenado. Muchos modelos disponibles en la actualidad incluyen funciones de este nivel, entre otras:

- Piloto automático adaptativo (**control de crucero**).
- Sistema de **control de carril**.
- Asistencia de estacionamiento.
- Control de distancia y anticolidión.
- Sistema automático de frenado de emergencia.

Aunque hay que recalcar que el conductor sigue controlando la mayoría de las funciones del coche y que no hay dos funciones automatizadas al mismo tiempo.

- Los **vehículos autónomos nivel 2** son capaces de tomar el control de algunos sistemas, aunque el conductor debe estar alerta por si se necesita su intervención. Ejemplos reales son: los modelos ProPilot de Nissan y el Mercedes-Benz Clase E. Y sus principales características son las que se comentarán a continuación:

- Al menos **dos funciones están automatizadas al mismo tiempo**.
- El **coche autoconducido se mantiene en el carril y a una distancia segura** de los otros elementos en la vía. Detectando los límites del carril y de la carretera.
- Se permite la conducción “manos libres”, aunque el coche **toma el control por períodos cortos de tiempo**, solo de algunas funciones y bajo ciertas condiciones. Por ello el **conductor debe estar alerta para retomar el control** si fuera necesario.

En este **nivel 3 (automatización condicional)**, los **vehículos autónomos** comienzan a analizar su entorno y son capaces de tomar decisiones. Utilizan sensores LiDAR para registrar lo que ocurre alrededor. Estos sensores combinan visión computarizada, cámaras, radar y localización.

Ejemplos de **vehículos autónomos** en este nivel son: el Tesla Model S, con el sistema piloto automático, y el Audi A8. Estos tipos de vehículos poseen las siguientes propiedades:

- Poseen la capacidad de **controlar funciones críticas de conducción como, por ejemplo**, circular en una autopista, adelantar un coche o tomar una salida.
- El vehículo **activa automáticamente ajustes de seguridad** al detectar determinadas situaciones de tráfico, en la vía o ambientales.
- Esto permite al conductor dejar de supervisar al coche en períodos extendidos de tiempo, pero solo en tramos con tráfico lento, **inferior a 60 km/h**.
- Hay que destacar que, en muchos países, todavía **no se ha definido o actualizado el marco legal, limitando su uso**. Respecto a España, se trabaja en la modificación del marco legislativo que afecta a los **vehículos autónomos**.

Los vehículos autónomos pertenecientes al **nivel 4 (alta automatización)** se conducen sin necesidad de intervención de un conductor. Utilizan algoritmos de IA (Inteligencia Artificial) para enfrentarse a los diferentes escenarios de conducción. Destacando que hay conexión mediante sistema WiFi en el coche.

Tesla tiene una variante del Model S, Google el Proyecto Waymo y Audi el Elaine Concept. Las singularidades de los vehículos de este nivel son:

- Pueden controlar todas las funciones críticas de conducción, pudiendo modificar su respuesta en función de condiciones externas. Y en posibles casos de que las condiciones son adversas, procede a la búsqueda un lugar seguro en la vía por la cual circule y se detiene.
- Ya no hay conductor, solo pasajeros. Pero aún no están disponibles, aunque se cree que entre la segunda y la tercera década del siglo 21 puedan estar disponibles. Y el Parlamento Europeo espera que estos vehículos estén disponibles en el año 2030.

En el **nivel 5** (automatización completa), los vehículos robotizados o automatizados no requieren ningún tipo de control de conducción, este tipo de vehículos no dispondrán en su interior de volante ni pedales. Y al igual que en el nivel 4, tampoco habrá conductor, pero en este nivel 5 las instrucciones serán dadas a través de comandos de voz o en su defecto a través de aplicaciones móviles.

En este siglo, se ha producido una enorme evolución respecto a los vehículos autónomos. Además, el avance en las tecnologías hace del vehículo autónomo una realidad. Muchos expertos en el mundo automovilístico consideran que este tipo de vehículos es el futuro de dicho sector y del transporte. En la próxima década, se podrá disfrutar de coches en los que poder viajar sin tener la necesidad de conducir, además de poder hacerlo de manera más segura evitando así accidentes. (Terol M., 2021).

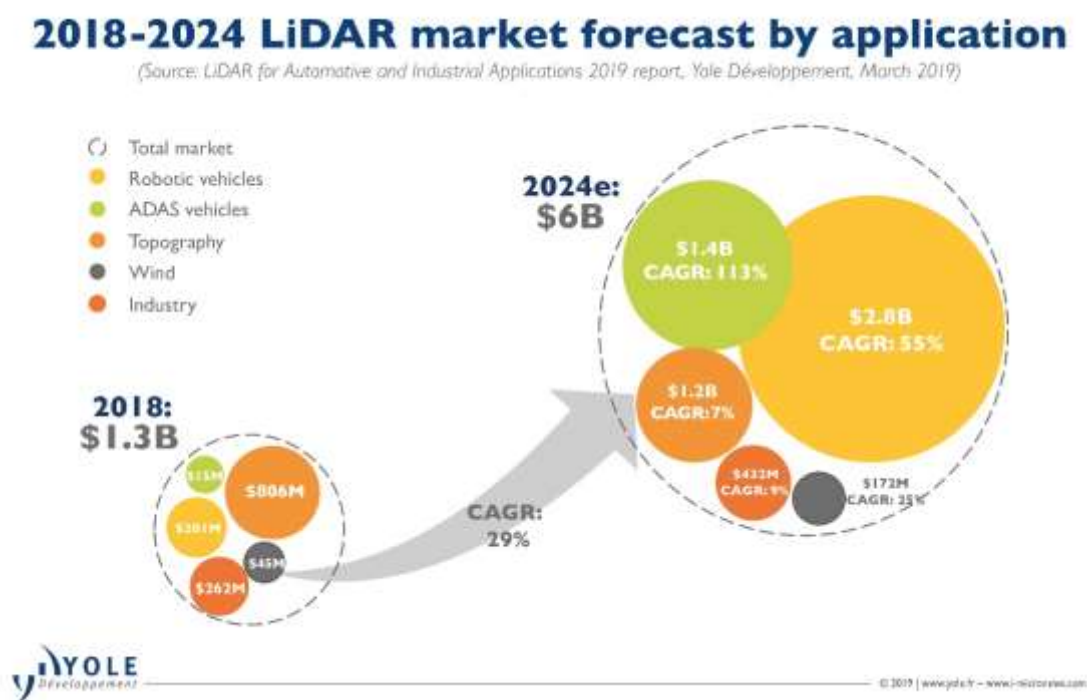


## 6.2. EL SECTOR EN CIFRAS

El mercado automovilístico genera al año un total de 100 millones de unidades, cada vez con más frecuencia está llegando nuestra tecnología al sector automovilístico, convirtiendo cada vez más autónomo los distintos automóviles, ayudando a la conducción de estos vehículos.

Esta tecnología no solo se aplica al sector del automóvil, también a construcción, aeronáutica, arqueología, parques eólicos, entre otros. Esta tecnología es fuente de muchas oportunidades, actualmente se está aplicando a coches automatizados (coches robots) y en pocos años llegará al resto del sector.

Yole Développement explica en uno de sus artículos acerca de la tecnología LiDAR y el sector automovilístico que: “El mercado LiDAR es un mercado importante que recién comienza”. Además, comenta que se espera un crecimiento medio anual del 29% hasta 2024 (Debray, A.; Pierrick, B., 2019).

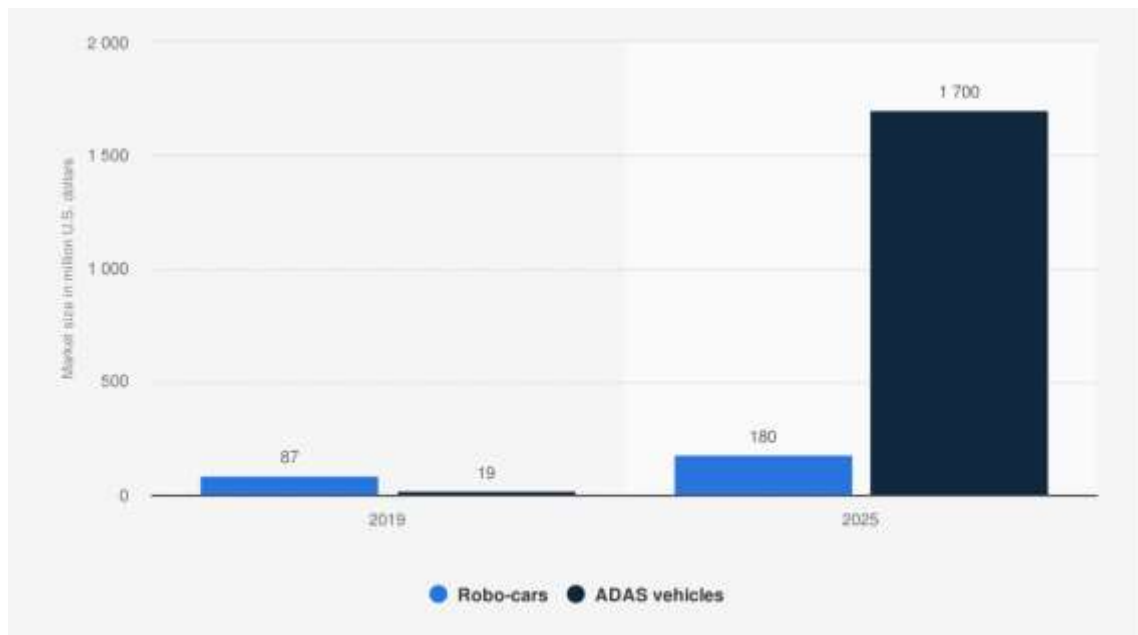


**Figura 6.2. Pronóstico para el mercado LIDAR y Automóvil**

Fuente: Yole Développement

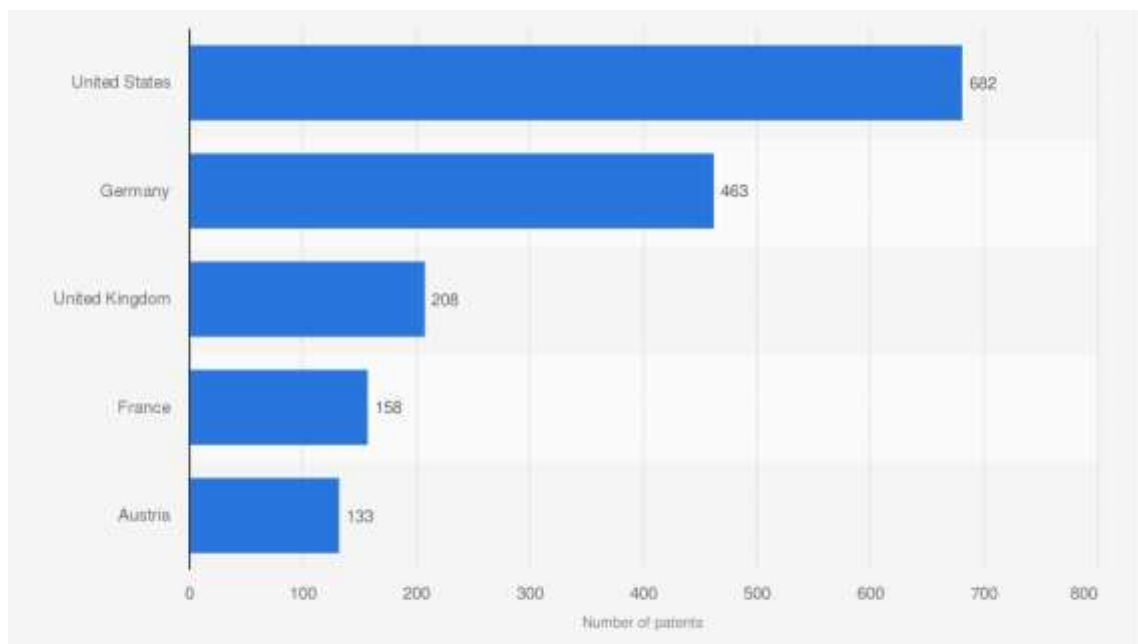
Como se puede observar en la figura anterior (figura 5.2) el mayor crecimiento según este estudio se produce en los *ADAS vehicles* que pasaría de un importe de \$15M en el año 2018 a conseguir un importe de \$1,4B en 2025 (consiguiendo un crecimiento anual del 113%), seguido de los en vehículos robóticos que pasaría de \$201M a \$2,8B (obteniendo un crecimiento anual del 55%).

A continuación, presentamos otros gráficos que nos da una idea sobre la situación del sector.



**Figura 5.3. Tamaño del mercado mundial LIDAR en el sector del Automóvil**

Fuente: Statista



**Figura 5.4. N° patentes publicadas tecnología LIDAR en 2018**

Fuente: Statista

En definitiva, podemos decir que estamos ante un sector con un alto potencial de crecimiento, más de un 30% anual, y un sector con un alto nivel de innovación.

## 7. SECTOR DE REFERENCIA

### 7.1. INTRODUCCIÓN

Siguiendo la metodología del Análisis Fundamental, en su versión top-down, desde lo general a lo particular. Después de estudiar el sector LIDAR, vamos a centrarnos en empresas que por su actividad y vida están más cerca de nuestro proyecto, ver figura 6.1.

En este punto vamos a estudiar aquellas empresas que tienen una actividad, mercado, vida y tamaño similar al nuevo proyecto de EBC para que de esta manera podamos posicionar a Photon y al mismo tiempo desarrollar una estrategia que nos sirva para definir el futuro de nuestra empresa de una manera factible y solvente.

Este estudio lo comenzaremos con una introducción a cerca del sector seleccionado, seguidamente haremos un análisis de la estructura económica, para continuar con la estructura financiera y concluir con la cuenta de resultados.

Teniendo en cuenta los datos del Registro Mercantil y las conversaciones mantenidas con el equipo de promotores hemos identificado el siguiente sector de referencia:

- Teledyne Innovaciones Microelectronicas, Sociedad Limitada.
- Aerolaser System SL
- Eolos Floating Lidar Solutions SL.
- Dielmo 3D SL
- Geotool Box Iberica S.L.
- Zenit Topografia Y Cartografia SL
- Grupo Alava Ingenieros SL.
- Photonic Sensors And Algorithms Sociedad Limitada.
- Beamagine SL.
- Knowledge Development For POF SL
- Trabajos Topograficos Y Cartograficos SL
- Imasenic Advanced Imaging S.L.
- Ommatidia Lidar SL.
- Blue Wolf Lidar Systems SL.

- Purple Pulse Lidar Systems S.L.
- Stereocarto-Protoba Lidar Euskadi Union Temporal De Empresas

Las empresas mencionadas en el estudio de mercado se dividen en dos grupos: las que desarrollan su propia tecnología y las que realizan servicios, generalmente de cartografía y telemetría, asociados a tecnología desarrollada por terceros.

Estas últimas suelen pasar por un valle de la muerte muy poco profundo (figura 6.1) y mostrar un EBITDA positivo en muy poco tiempo. Algunas de las empresas mencionadas en el estudio que pertenecen a este grupo son:

- Aerolaser System SL
- Eolos Floating Lidar Solutions SL
- Dielmo 3D SL
- Geotool Box Iberica SL
- Zenit Topografía y Cartografía SL

Las demás empresas desarrollan tecnología propia, dentro del mundo de la microelectrónica, y sortean un valle de la muerte de entre 3 y 5 años (figura 7.1). Las mencionadas en el estudio son:

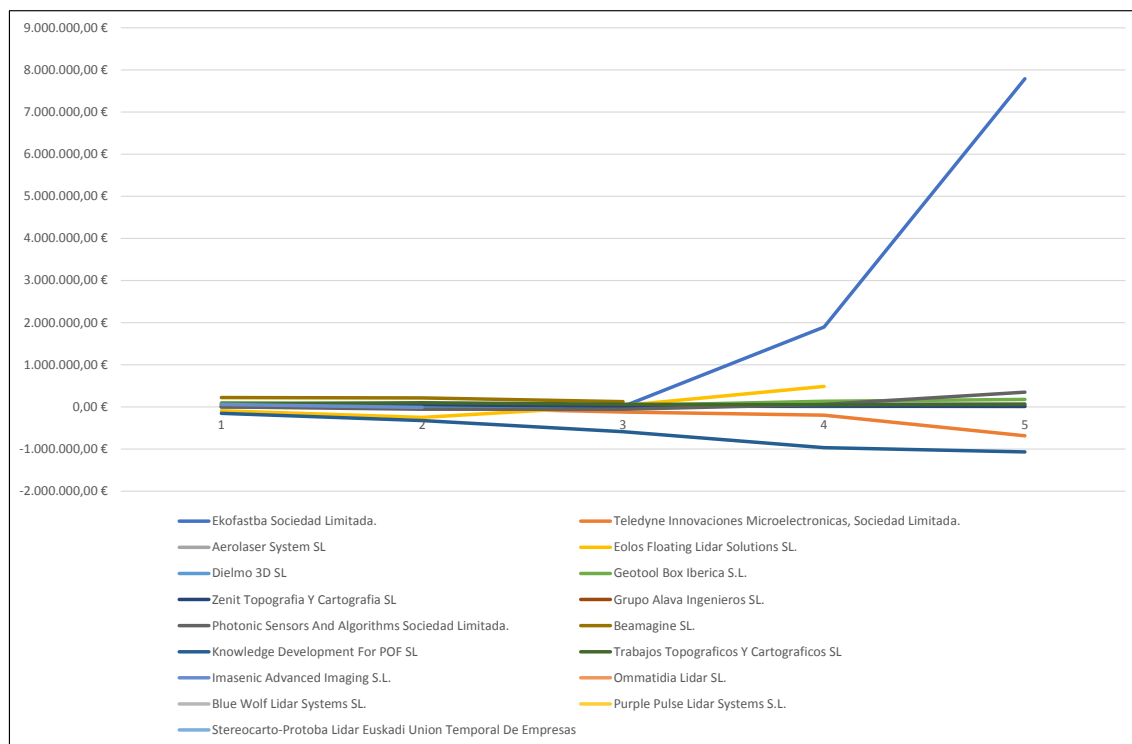
- Anafocus - Innovaciones Microelectrónicas SL (adquirida por e2V y esta a su vez adquirida por Teledyne)
- Photonic Sensors and Algorithms SL
- Knowledge Development for POF SL

En el caso de Anafocus, comenzaron por distribuir silicon IPs (bloques de circuito para integrar en chips de otros fabricantes). Este negocio no prosperaba y concentraron los esfuerzos en el desarrollo de chips de visión e imagers inteligentes customizados. Hasta la adquisición por parte de Teledyne no han empezado a tener una línea de productos estándar.

KDPOF se dedica al desarrollo de un chipset para las comunicaciones por fibra óptica de plástico, que se utilizan cada vez más en automoción y en aplicaciones domésticas e industriales. Tienen algunos productos estándar como transceivers y codificadores, pero ofrecen también servicios de ingeniería para el desarrollo de chips ad hoc para clientes. También es interesante cómo se han implicado en la definición de standards en un campo en el que quedaba mucho por construir.

En ambos casos, desarrollaron prototipos cercanos a las necesidades básicas de los clientes y desarrollaron kits de evaluación con los que trabajar y profundizar en las necesidades de los clientes, que luego han contratado el diseño de circuitos ad hoc.

Photonicsens desarrolla cámaras y algoritmos de visión 3D. No mencionan nada acerca del sensor que utilizan y tiene un alcance de entre 2 y 4m, por lo que deben estar usando un sensor de tiempo de vuelo basado un sensor CMOS comercial. Esto está bien, para corto alcance, pero no supone ninguna ventaja con respecto a cientos de ofertas en el mercado de la misma tecnología. La ventaja competitiva es que no existe mucha gente que sea capaz de adaptar estos sistemas a las necesidades de un cliente e incorporar estas cámaras en procesos industriales o sistemas más complejos como máquinas o robots.

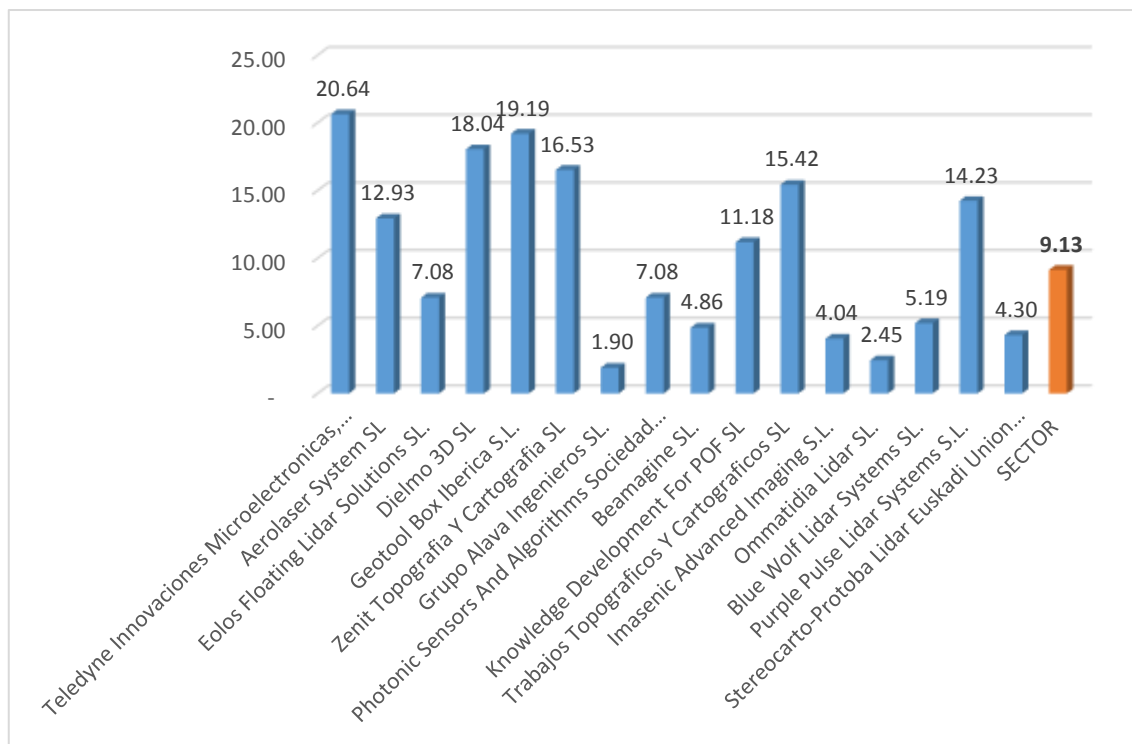


**Figura 7.1. EBITDA primeros años de vida del sector (valle de la muerte)**

Fuente: Elaboración propia

Photon será una empresa que desarrolle tecnología propia y que intente ofrecer ciertos servicios como forma de generar liquidez que ayude a cubrir las necesidades que se vayan produciendo.

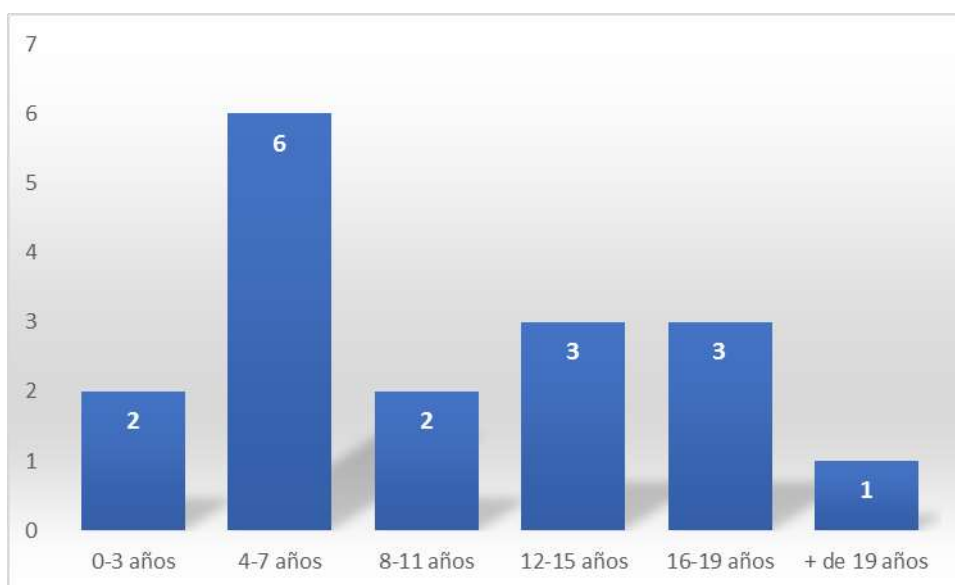
Por otro lado, si nos centramos en la vida del sector comprobamos que es un sector joven con una vida media de 9 años, lo que hace que sea un sector con alto potencial de crecimiento y cierto nivel de riesgo, que el equipo debe gestionar.



**Figura 7.2. Vida del sector**

Fuente: Elaboración propia

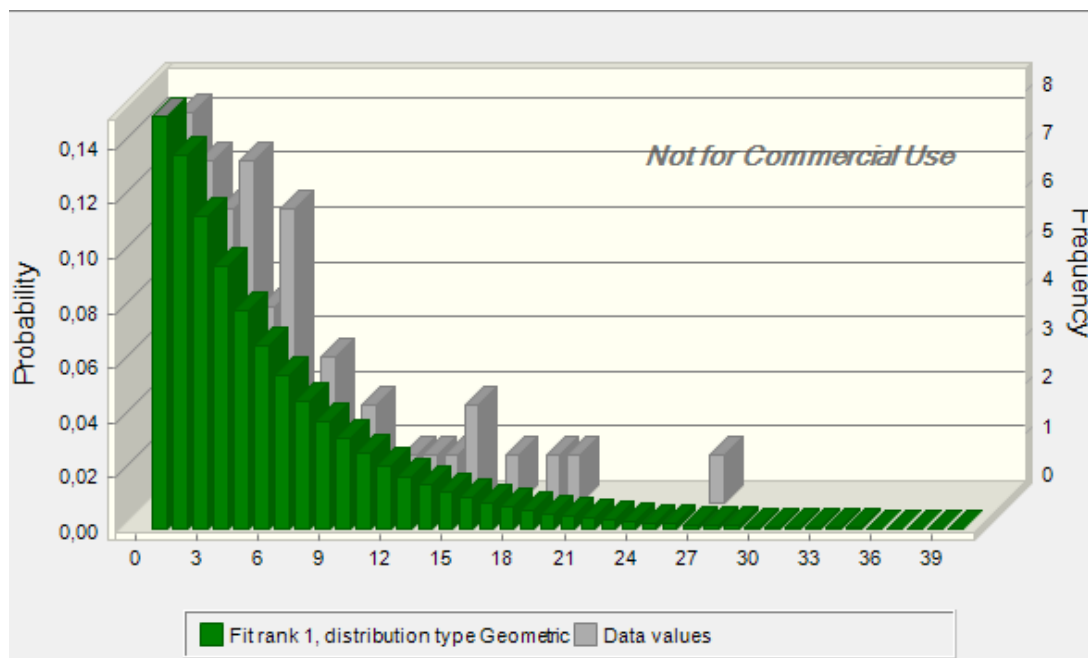
El siguiente gráfico nos muestra que la vida o duración de 13 empresas de las 17 analizadas (76.47 %) se sitúa en los 15 primeros años, resaltando que encontramos el mayor número de empresas (6 empresas) en el intervalo de 4 a 7 años. Además, como se observa en ambos gráficos (tanto el anterior como el siguiente) las compañías seleccionadas no poseen una alta cifra de vida, siendo la empresa más antigua creada el 5 de septiembre del año 2000. Esto es debido a que estas compañías realizan actividades de tecnología LiDAR, siendo algo nuevo e innovador.



**Figura 7.3. Histograma de la vida del sector**

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al número de empleados comprobamos que en su mayoría son empresas con menos de 6 trabajadores a tiempo total, esto es debido a la existencia de becarios de investigación y trabajos externos, que tienen diferente contabilización.



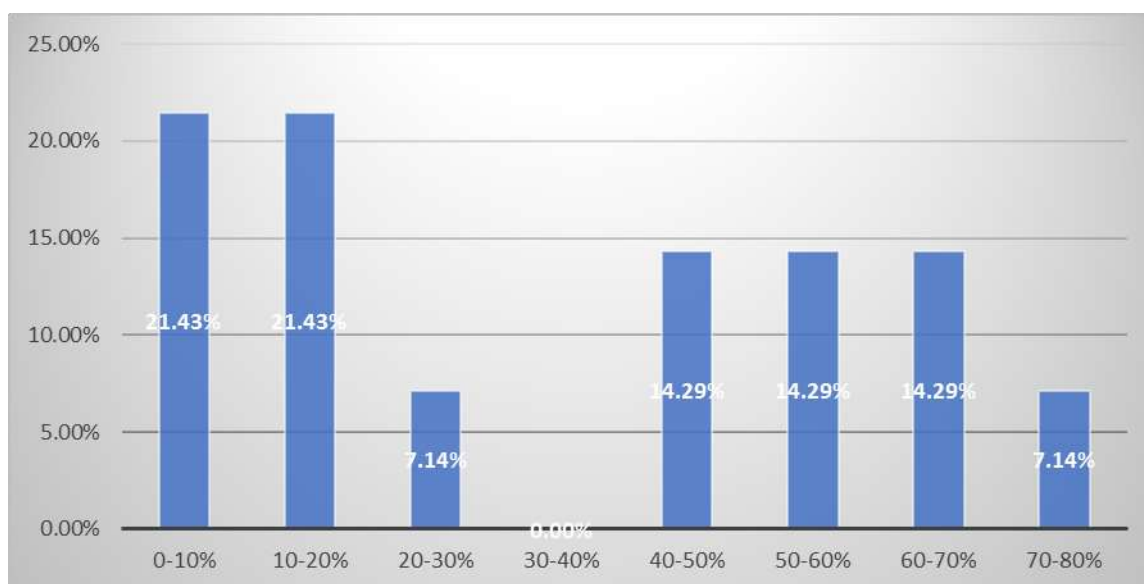
**Figura 7.4. Distribución de número de empleados del sector**

Fuente: Elaboración propia

## 7.2. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA ECONÓMICA

Existe un incremento progresivo de valores del peso del activo no corriente dentro de la estructura de activo. Aunque la mayoría de las empresas poseen un Activo No Corriente superior al 50% respecto al Activo Total, hay que destacar que la media es inferior al 50% (33.84%). Esto es debido a que algunas compañías al tener una vida muy corta hacen que dicha media baje, ya que en los primeros años de funcionamiento de las empresas no se dispone del dinero suficiente para realizar grandes inversiones en inmovilizados.

Por lo tanto, se puede concluir que en la mayoría de las compañías estudiadas las infraestructuras son superiores a la inversión y tan solo en aquellas que aprovechan las TIC pertenecerán a una proporción menor.



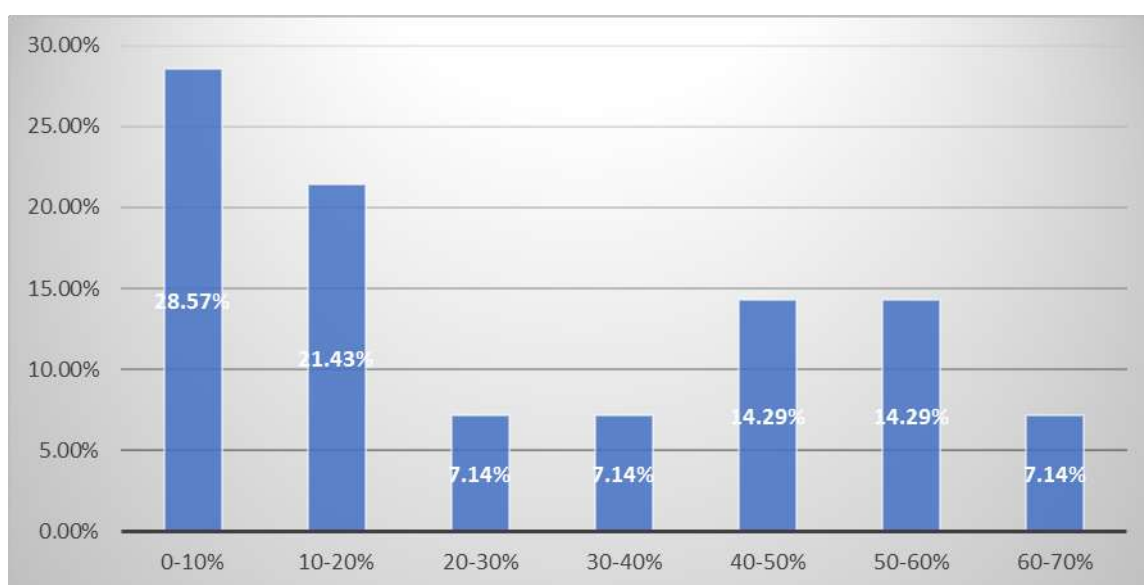
**Figura 7.5. Activo No corriente/Activo Total**

*Fuente: Elaboración propia*

Siguiendo con el análisis del activo no corriente, en el gráfico del inmovilizado material se observa cómo un 57.15% de las empresas del sector de referencia posee unos porcentajes de Inmovilizado Material mayor del 50%. Esto puede ser debido a:

- La necesidad de los activos específicos para poder desarrollar la actividad
- Inversión menor en I+D+i.

Si nos centramos en el estudio del inmovilizado inmaterial comprobamos que el reconocimiento del I+D+i está por debajo del 50%, lo que quiere decir que la mayor parte de las empresas no reconocen en sus estados financieros el conocimiento y la tecnología desarrollada. Por otro lado, hay pocas empresas que contienen un peso importante en I+D+I (tan solo el 21% poseen más de un 50%, siendo el mayor porcentaje un 65.52%).

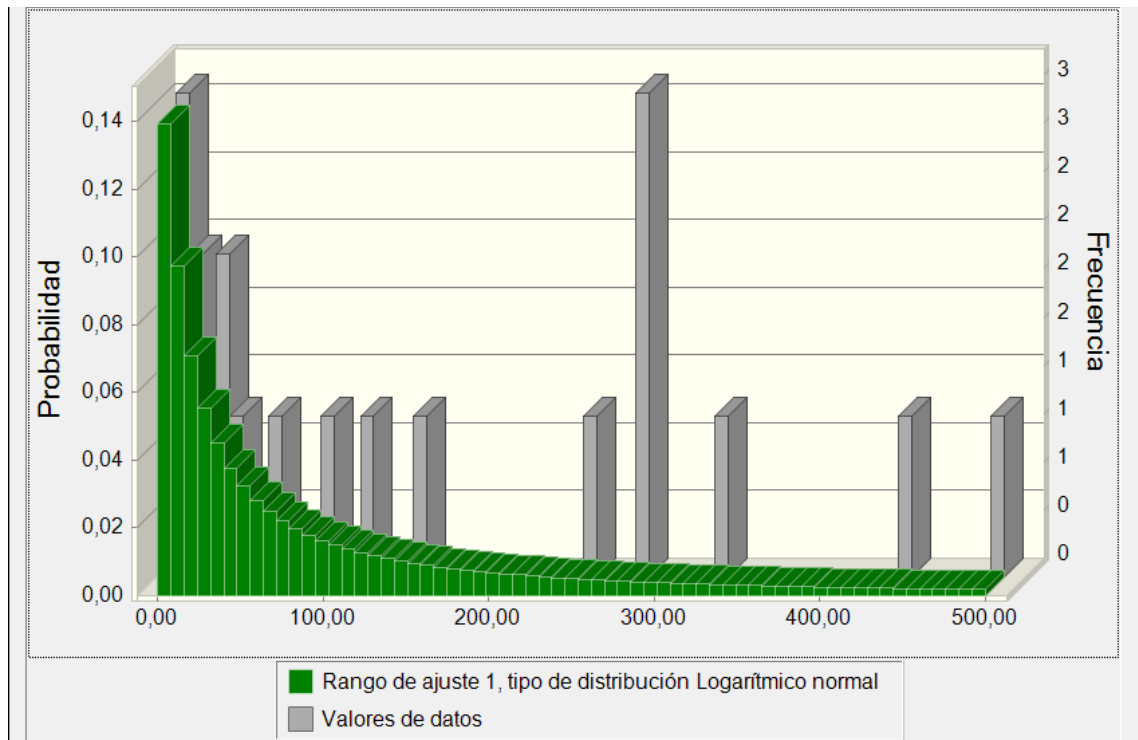




**Figura 7.6. Inmovilizado Inmaterial/Activo No corriente**

*Fuente: Elaboración propia*

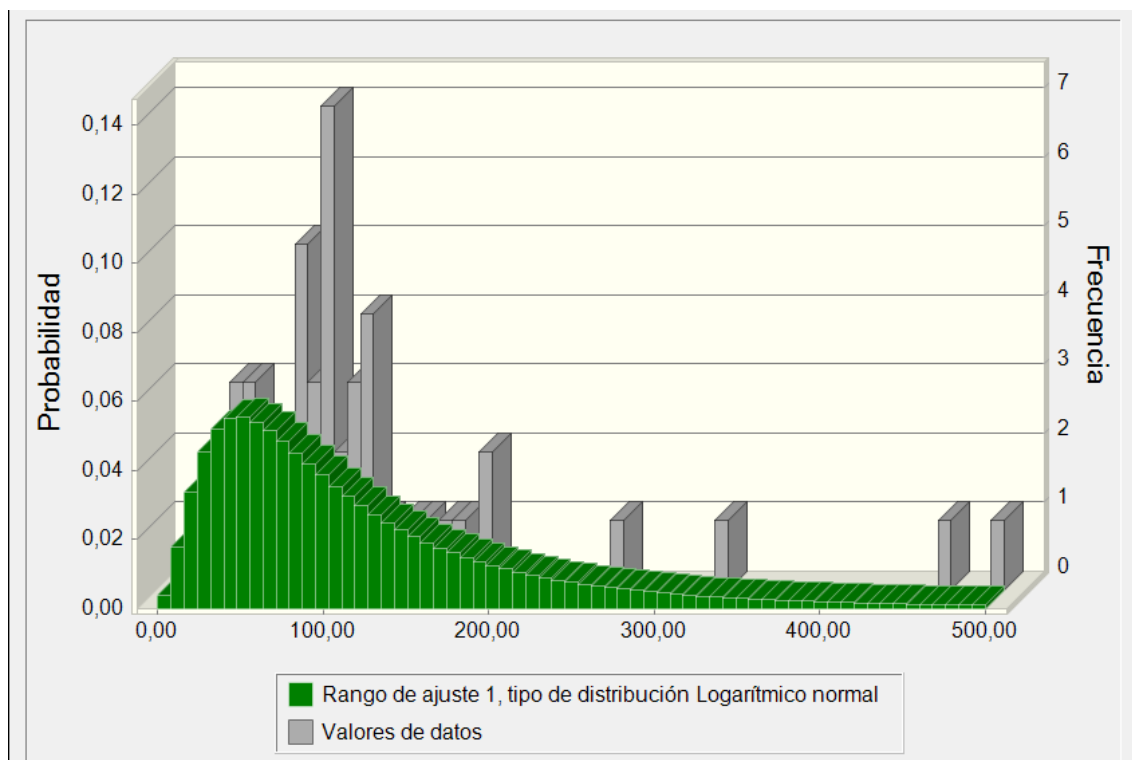
Si nos centramos en el corto plazo, y en concreto en los periodos medios, comprobamos como el periodo medio de existencias, que representa el tiempo que tardamos en fabricar el producto y/o servicio, sigue una distribución logarítmico normal, con unos valores razonables entre 5 y 90 días.



**Figura 7.7. Periodo Medio de Existencias**

*Fuente: Elaboración propia*

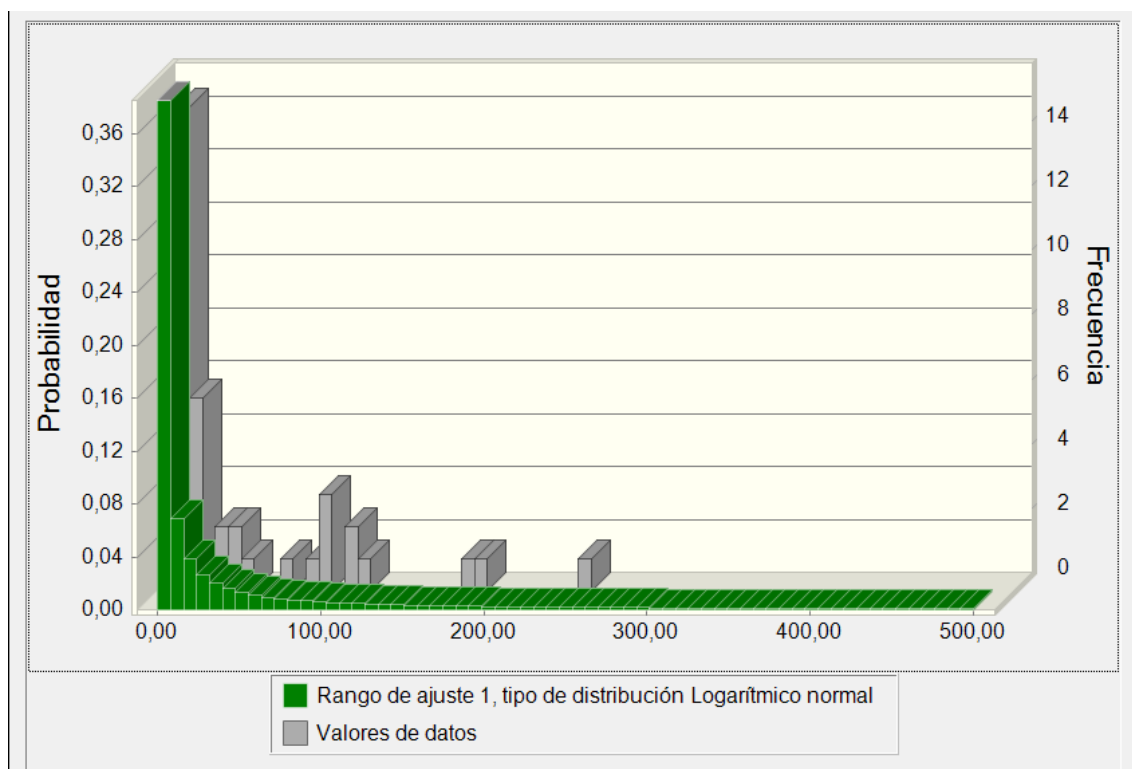
En cuanto al periodo medio de cobro también sigue una distribución logarítmico normal, con unos valores razonables entre 5 y 100 días.



**Figura 7.8. Periodo Medio de Cobro**

*Fuente: Elaboración propia*

En cuanto al periodo medio de pago también sigue una distribución logarítmico normal, con unos valores razonables entre 5 y 100 días.



**Figura 7.9. Periodo Medio de Pago**

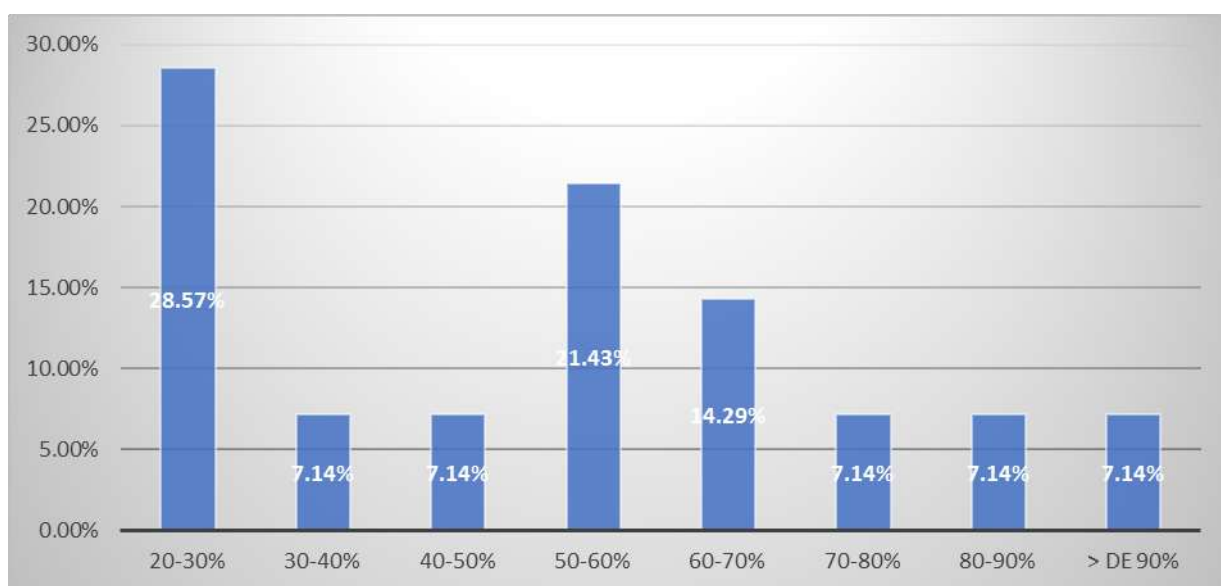
*Fuente: Elaboración propia*

Desde el punto de vista financiero, el proyecto debe intentar que el periodo medio de existencias más el periodo medio de cobro como mínimo debe coincidir con el periodo de pago, si fuera superior supondría una necesidad superior de financiación y una penalización de la solvencia.

### 7.3. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA FINANCIERA

En lo referente al pasivo hay que analizar fundamentalmente el patrimonio neto y el pasivo a largo plazo, para determinar de dónde procede la financiación de la empresa y como se sustenta su activo.

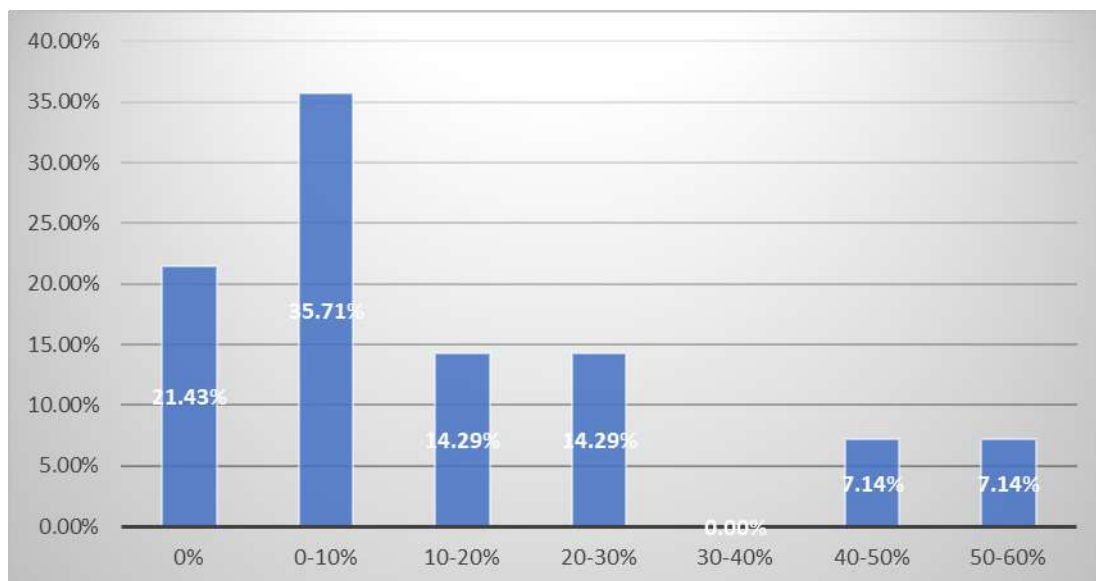
Los fondos propios representan el valor contable neto y la capacidad de autofinanciación, el 35.71 % de las observaciones se sitúan por encima del 50 %, indicamos que a largo plazo esta proporción debe aumentar para un correcto equilibrio. Además, hay que destacar que aquellas empresas que superan el 70% (21.43% de la muestra) son de reciente creación.



**Figura 7.10. Fondos Propios/Recursos Totales**

*Fuente: Elaboración propia*

En cuanto al pasivo no corriente, deuda a largo plazo, el 7.14 % de las observaciones se sitúa en valores mayores superiores al 50 %, dato que podemos relacionar con la escasez de financiación otorgada por entidades financieras, debido principalmente a que son empresas de baja edad, por lo cual dichas entidades financieras se muestran reacias a prestar financiación a este tipo de empresas debido al riesgo que pueden tener de no devolución.



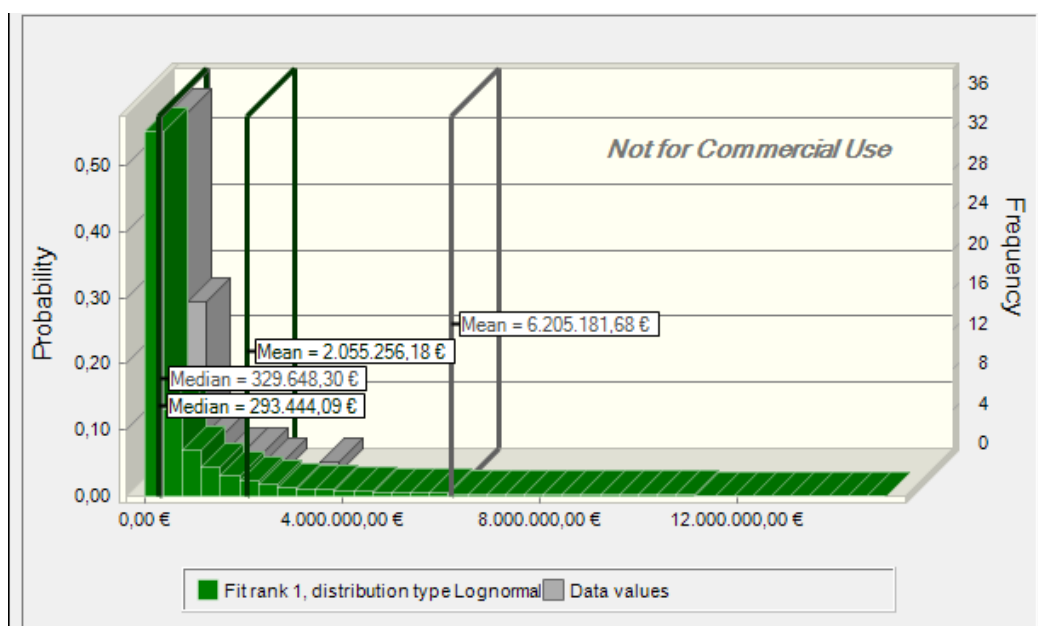
**Figura 7.11. Pasivo no Corriente/Recursos Totales**

*Fuente: Elaboración propia*

## 7.4. ANÁLISIS DE LA CUENTA DE RESULTADOS

En este apartado, el punto más relevante es el de las ventas, pero existen otros tres relativos a los gastos, que nos permiten conocer qué beneficio queda una vez cubiertos los costes en los que incurre la empresa.

Las ventas siguen una distribución logarítmico normal y los valores razonables podrían estar entre 350.000€ y 2.000.000€, dependiendo de la capacidad y objetivos que marquen el equipo promotor.

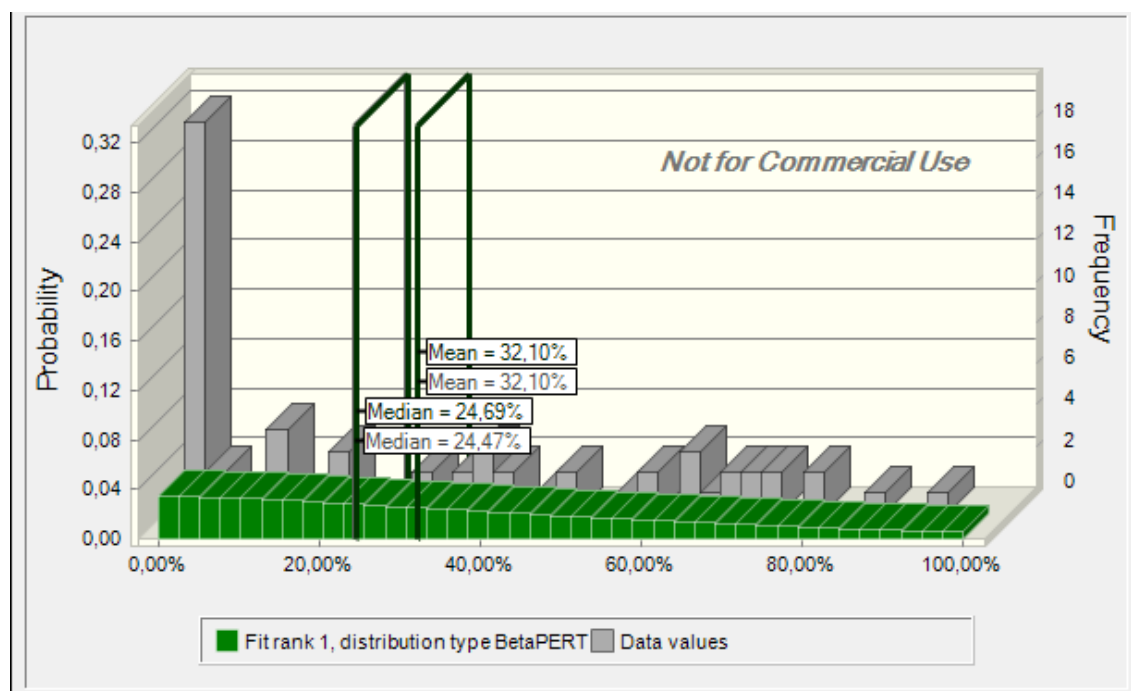


**Figura 7.12. Ventas del Sector**

*Fuente: Elaboración propia*

Una vez estimadas las ventas, tenemos que estimar los costes de explotación para así poder determinar el EBITDA o renta generada por la actividad. La estimación de estos costes la vamos a hacer en relación al peso que tienen con respecto a las ventas.

En cuanto a los costes de aprovisionamiento, éstos siguen una distribución BetaPERT y unos valores razonables estarían comprendido entre un 20 y 30%.



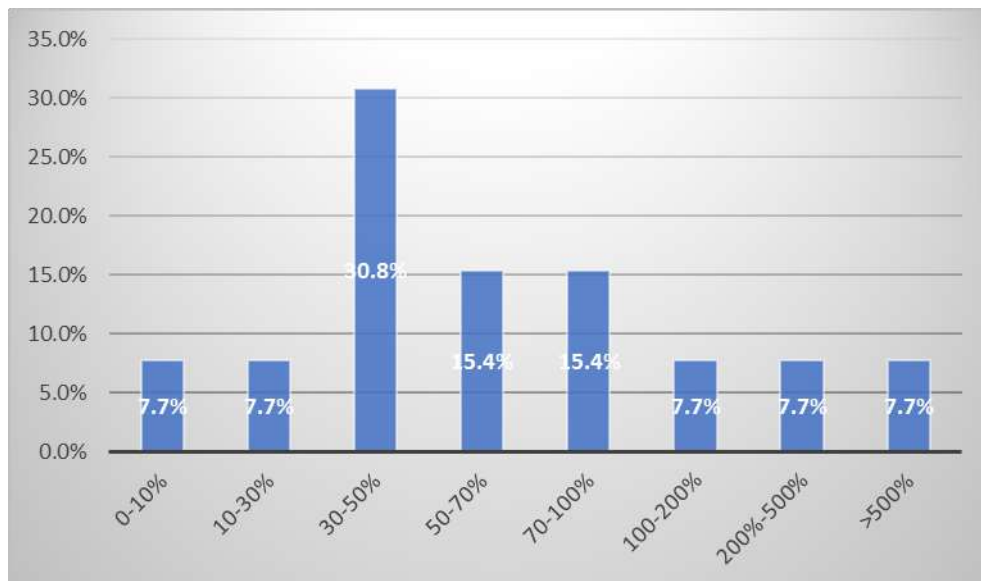
**Figura 7.13. Aprovisionamiento/Ventas del Sector**

*Fuente: Elaboración propia*

En el gráfico del gasto de personal, formados por los sueldos y salarios y la seguridad social a cargo de la empresa, en relación a los ingresos observamos que:

- El 46.2% de las observaciones están comprendidas en valores que no superan el 50%.
- Sin embargo, como se puede observar en la siguiente gráfica, el 23.1% de las observaciones superan el 100 % ingresos

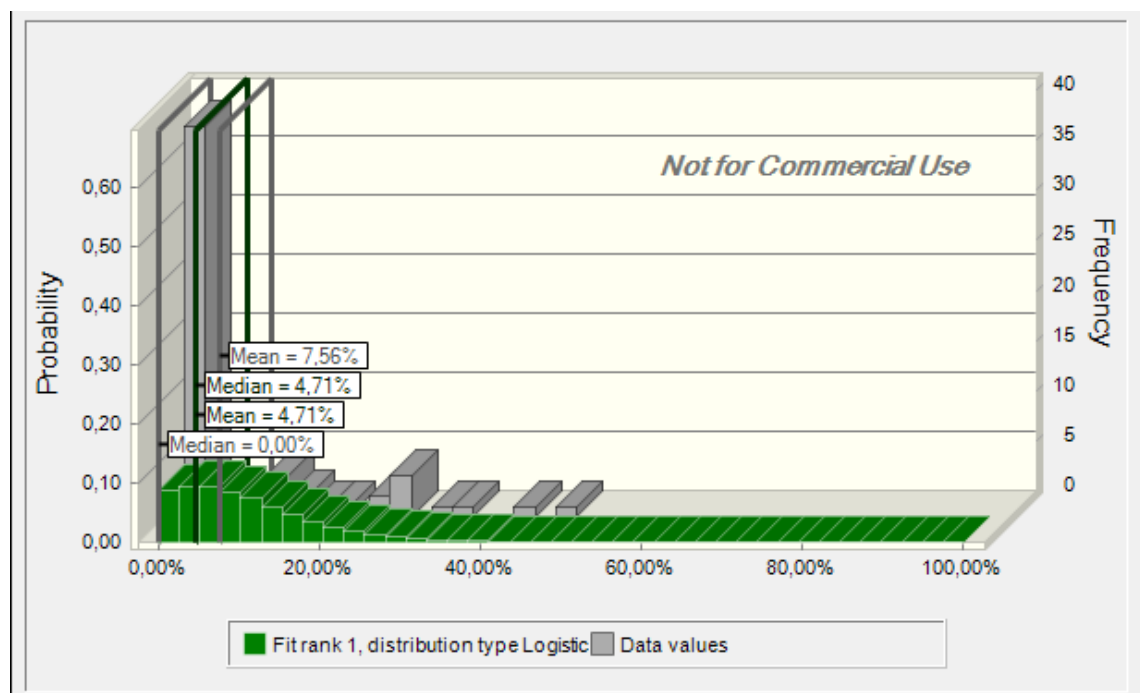
Este es un sector que retribuye al personal por encima de la media, así que si es posible deberíamos controlar este punto de la empresa.



**Figura 7.14. Gasto de Personal/Ventas del Sector**

*Fuente: Elaboración propia*

Los otros gastos de explotación (alquileres, teléfono, luz, servicios externos, etc) sigue una distribución logística y unos valores razonables podrían estar comprendidos entre un 3% y un 10%.



**Figura 7.15. Otros gastos de Explotación/Ventas del Sector**

*Fuente: Elaboración propia*

Finalmente, vamos a analizar la renta de la actividad del sector o su EBITDA, que sigue una distribución logarítmico-normal, y en sus primeros años de vida arrojan, para el sector valores positivos como podemos ver en la figura.

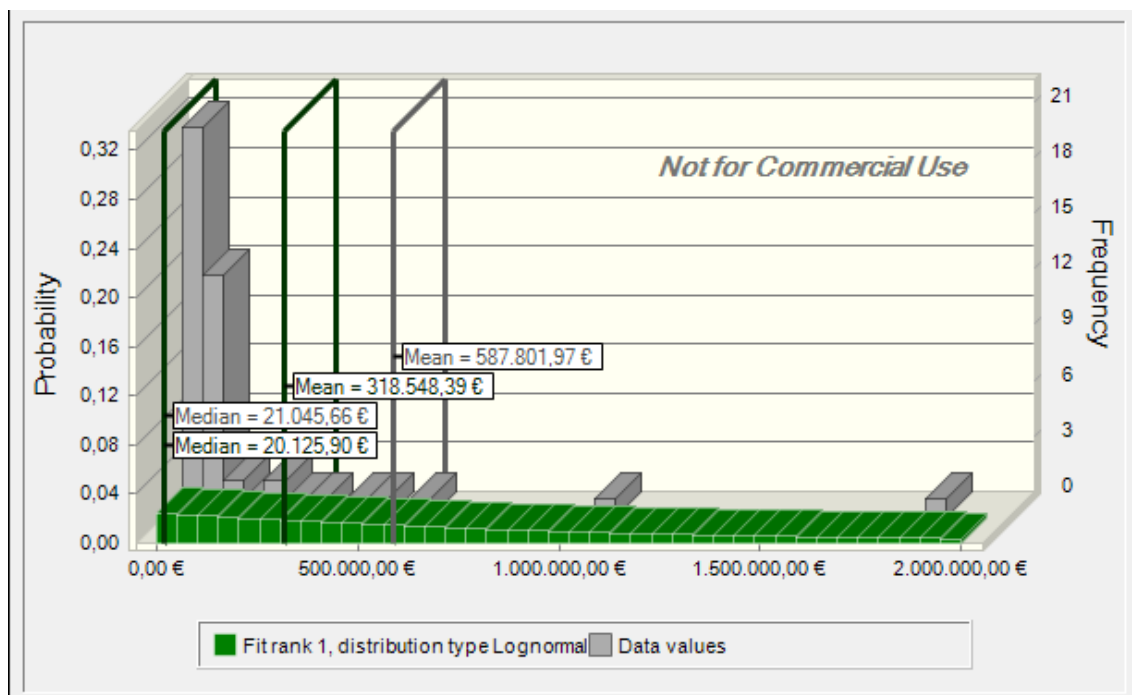


Figura 7.16. EBITDA del Sector

Fuente: Elaboración propia

## **8. ESTRATEGIAS Y PLAN DE VIABILIDAD**

### **8.1. INTRODUCCIÓN**

En este capítulo vamos a abordar la estructura y viabilidad de la empresa para los próximos cinco años. Para alcanzarlos me he servido de los datos expuestos en los capítulos anteriores y de diversas reuniones con expertos del sector que me han ayudado a identificar qué valores pueden alcanzarse y cuáles no. Tras hacer las previsiones de la estructura futura del negocio se concluirá si el plan es viable.

### **8.2. SITUACIÓN ACTUAL**

Al ser una empresa de nueva creación partimos de un balance inicial o de creación donde los socios aportan un capital inicial de 10.000€ y el registro de una marca valorada en 15.000€, quedando el balance de creación como muestra la figura que mostramos a continuación.



Balance de situación	Photon
<b>Inmovilizado</b>	<b>15.000,00 €</b>
Inmovilizado inmaterial	15.000,00 €
Inmovilizado material	
Otros activos fijos	
<b>Activo circulante</b>	<b>10.000,00 €</b>
Existencias	- €
Deudores	
Otros activos líquidos	10.000,00 €
<b>Total activo</b>	<b>25.000,00 €</b>
<b>Fondos propios</b>	<b>25.000,00 €</b>
Capital suscrito	25.000,00 €
Otros fondos propios	
<b>Pasivo fijo</b>	<b>- €</b>
Acreedores a L. P.	- €
Otros pasivos fijos	- €
Provisiones	
<b>Pasivo líquido</b>	<b>- €</b>
Deudas financieras	- €
Acreedores comerciales	
Otros pasivos líquidos	
<b>Total pasivo y capital propio</b>	<b>25.000,00 €</b>

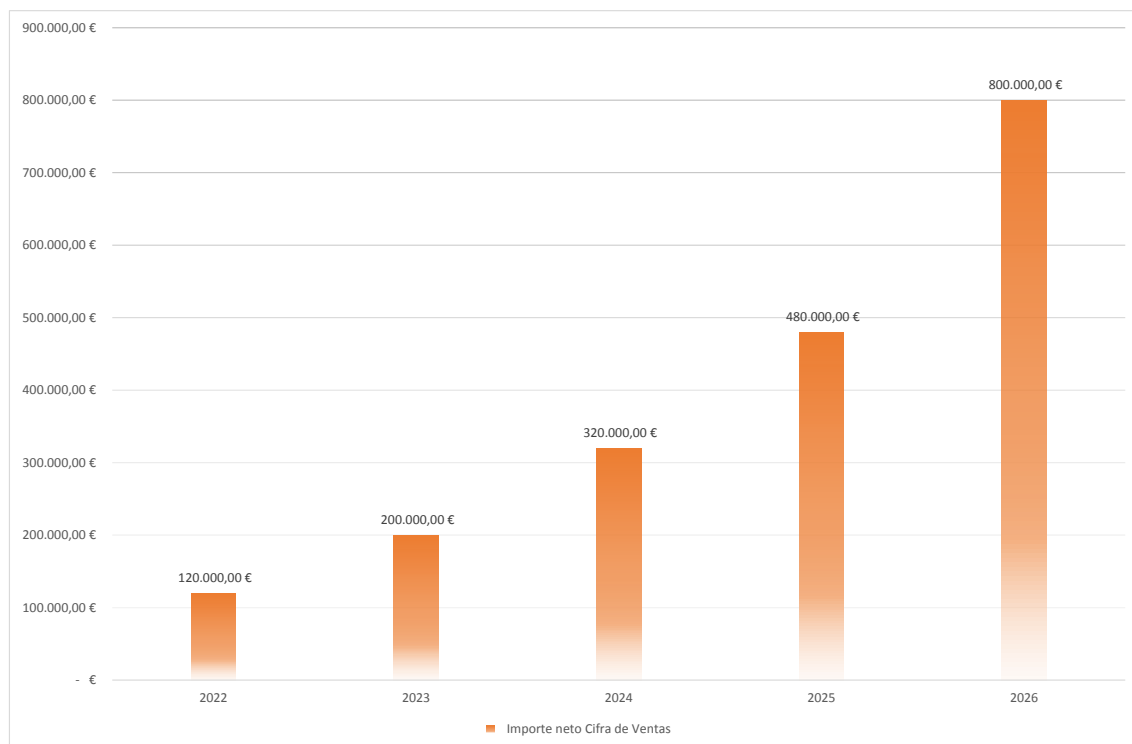
Figura 8.1. Balance de Creación

*Fuente: Elaboración propia*

### 8.3. ESTRATEGIA DE MERCADO

A continuación, iremos desarrollando cada una de las estrategias comenzando por la de mercado, que refleja cómo se obtiene y reparte la renta generada por la actividad de la empresa.

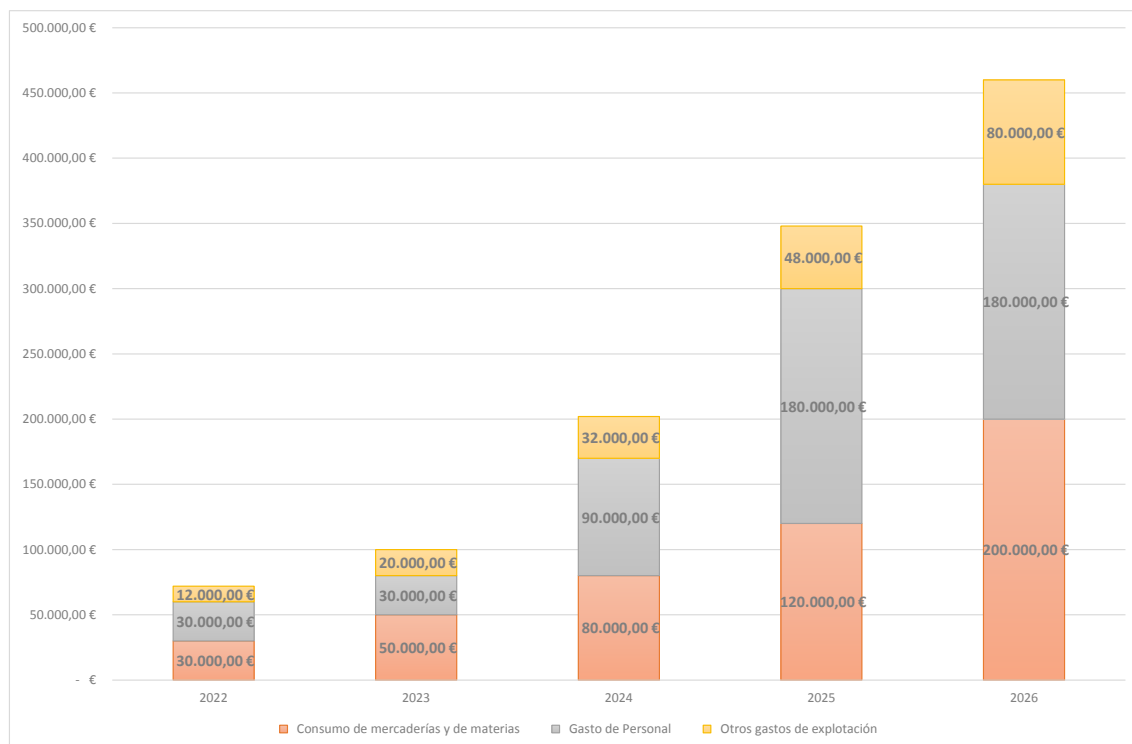
Para ello, comenzaremos por fijar unos objetivos de ventas para los próximos cinco años. Dentro del epígrafe ventas también contemplamos proyectos de investigación no reembolsables que se pueden considerar como otros ingresos de explotación. Si observamos el rango de ventas en los primeros años de vida del sector es muy amplio, así que después de varias reuniones con los promotores decidimos como razonable fijar un objetivo de ventas a cinco años de 800.000€, distribuidos como muestra el siguiente gráfico.



**Figura 8.2. Ventas estimadas próximos cinco años**

*Fuente: Elaboración propia*

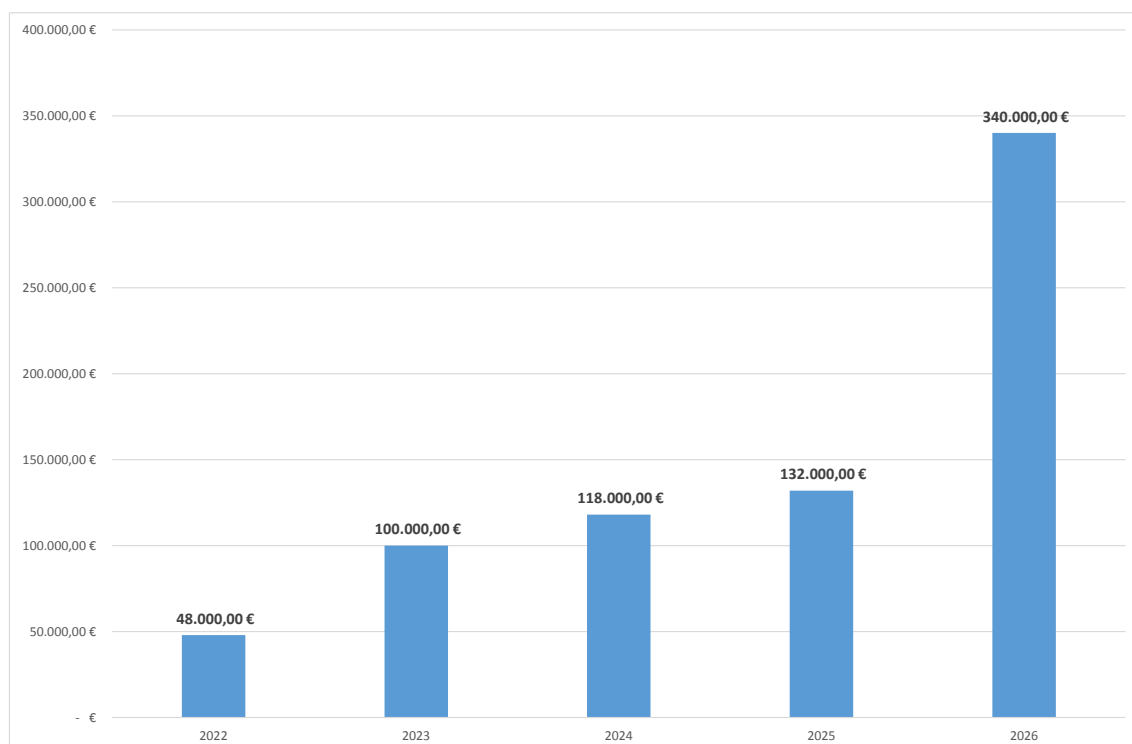
En cuanto a los costes hemos decidido fijar unos costes de aprovisionamiento del 25% sobre las ventas y otros gastos de explotación de un 10%, fijando el número de empleados en un objetivo a cinco años de 6 empleados a tiempo completo a 30.000€ por empleado y año. Si se necesitara contratar a más personal se contrataría a través de servicios externos o por proyectos de investigación y esta plantilla se iría consolidando a medida que se consolidara la actividad. De esta manera, el resumen de costes lo vemos en la siguiente figura.



**Figura 8.3. Costes de Explotación estimados próximos cinco años**

*Fuente: Elaboración propia*

Si determinamos la diferencia entre ventas y costes obtenemos el EBITDA o renta generada por la actividad como muestra el siguiente gráfico.



**Figura 8.4. EBITDA estimado para los próximos cinco años**

Fuente: Elaboración propia

## 8.4. ESTRATEGIA FINANCIERA

La estrategia financiera refleja el reparto del EBITDA o renta generada por la actividad, en sus distintas políticas: mantenimiento, crecimiento, rentabilidad, etc. Así el reparto de dicha renta lo veremos en la siguiente figura.

	2022	2023	2024	2025	2026
POLITICA DE MANTENIMIENTO (CAT)	29.166,67 €	30.666,67 €	35.166,67 €	44.166,67 €	53.166,67 €
	60,76%	30,67%	29,80%	33,46%	15,64%
POLITICA RETRIBUCIÓN RECURSOS AJENOS	- €	- €	- €	- €	- €
	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
POLIT RETRIBUCIÓN HP	6.583,33 €	19.208,33 €	26.333,33 €	33.208,33 €	82.958,33 €
	13,72%				
POLITICA CRECIMIENTO (RESERVAS)	12.250,00 €	50.125,00 €	56.500,00 €	54.625,00 €	203.875,00 €
	25,52%	50,13%	47,88%	41,38%	59,96%
POLITICA DE RENTABILIDAD (DIVIDENDOS)					
<b>EBITDA</b>	<b>48.000,00 €</b>	<b>100.000,00 €</b>	<b>118.000,00 €</b>	<b>132.000,00 €</b>	<b>340.000,00 €</b>

Figura 8.5. Estrategia Financiera próximos cinco años

Fuente: Elaboración propia

En este punto y con los datos anteriores podemos construir las cuentas de pérdidas y ganancias previsionales.

Cuentas de pérdidas y ganancias	2022	2023	2024	2025	2026
Ingresos de explotación					
Importe neto Cifra de Ventas	120.000,00 €	200.000,00 €	320.000,00 €	480.000,00 €	800.000,00 €
Otros Ingresos Explot					
TRPPI	7.500,00 €	7.500,00 €	22.500,00 €	45.000,00 €	45.000,00 €
Consumo de mercaderías y de materias	30.000,00 €	50.000,00 €	80.000,00 €	120.000,00 €	200.000,00 €
Gasto de Personal	30.000,00 €	30.000,00 €	90.000,00 €	180.000,00 €	180.000,00 €
Otros gastos de explotación	12.000,00 €	20.000,00 €	32.000,00 €	48.000,00 €	80.000,00 €
<b>EBITDA</b>	<b>48.000,00 €</b>	<b>100.000,00 €</b>	<b>118.000,00 €</b>	<b>132.000,00 €</b>	<b>340.000,00 €</b>
CAT	29.166,67 €	30.666,67 €	35.166,67 €	44.166,67 €	53.166,67 €
<b>BAIT</b>	<b>26.333,33 €</b>	<b>76.833,33 €</b>	<b>105.333,33 €</b>	<b>132.833,33 €</b>	<b>331.833,33 €</b>
Ingresos financieros					
Gastos financieros	- €	- €	- €	- €	- €
<b>Resultado financiero</b>	<b>- €</b>	<b>- €</b>	<b>- €</b>	<b>- €</b>	<b>- €</b>
<b>Result. ordinarios antes Impuestos</b>	<b>26.333,33 €</b>	<b>76.833,33 €</b>	<b>105.333,33 €</b>	<b>132.833,33 €</b>	<b>331.833,33 €</b>
Impuestos sobre sociedades	6.583,33 €	19.208,33 €	26.333,33 €	33.208,33 €	82.958,33 €
<b>Resultado Actividades Ordinarias</b>					
Ingresos extraordinarios					
Gastos extraordinarios					
<b>Resultados actividades extraordinarias</b>					
<b>Resultado del Ejercicio</b>	<b>19.750,00 €</b>	<b>57.625,00 €</b>	<b>79.000,00 €</b>	<b>99.625,00 €</b>	<b>248.875,00 €</b>

Figura 8.6. Cuentas de Pérdidas y Ganancias próximos cinco años

Fuente: Elaboración propia

## 8.5. ESTRATEGIA DE CIRCULANTE

En función de los datos del sector y la opinión de los emprendedores los periodos medio de existencia, de cobro y de pago son 30, 60 y 90 días, respectivamente.

Teniendo en cuenta esto y las cuentas de pérdidas y ganancias obtenemos el cuadro de circulante.

INDICE		2022	2023	2024	2025	2026
Existencias	- €	11.835,62 €	16.438,36 €	33.205,48 €	57.205,48 €	75.616,44 €
Variación		11.835,62 €	4.602,74 €	16.767,12 €	24.000,00 €	18.410,96 €
Deudores	- €	9.863,01 €	16.438,36 €	26.301,37 €	39.452,05 €	65.753,42 €
Variación		9.863,01 €	6.575,34 €	9.863,01 €	13.150,68 €	26.301,37 €
Otros activos líquidos	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €
Variación		- €	- €	- €	- €	- €
<b>Activo Corriente</b>	<b>10.000,00 €</b>	<b>31.698,63 €</b>	<b>42.876,71 €</b>	<b>69.506,85 €</b>	<b>106.657,53 €</b>	<b>151.369,86 €</b>
<b>Variación</b>	<b>- €</b>	<b>21.698,63 €</b>	<b>11.178,08 €</b>	<b>26.630,14 €</b>	<b>37.150,68 €</b>	<b>44.712,33 €</b>
Deudas financieras	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Variación		- €	- €	- €	- €	- €
Acreedores comerciales	- €	17.753,42 €	24.657,53 €	49.808,22 €	85.808,22 €	113.424,66 €
Variación		17.753,42 €	6.904,11 €	25.150,68 €	36.000,00 €	27.616,44 €
Otros pasivos líquidos	- €	6.583,33 €	19.208,33 €	26.333,33 €	33.208,33 €	82.958,33 €
Variación		6.583,33 €	12.625,00 €	7.125,00 €	6.875,00 €	49.750,00 €
<b>Pasivo Corriente</b>	<b>- €</b>	<b>24.336,76 €</b>	<b>43.865,87 €</b>	<b>76.141,55 €</b>	<b>119.016,55 €</b>	<b>196.382,99 €</b>
<b>Variación</b>	<b>- €</b>	<b>24.336,76 €</b>	<b>19.529,11 €</b>	<b>32.275,68 €</b>	<b>42.875,00 €</b>	<b>77.366,44 €</b>
<b>CC</b>	<b>10.000,00 €</b>	<b>7.361,87 €</b>	<b>989,16 €</b>	<b>6.634,70 €</b>	<b>12.359,02 €</b>	<b>45.013,13 €</b>
<b>NNCC</b>	<b>-</b>	<b>2.638,13 €</b>	<b>8.351,03 €</b>	<b>5.645,55 €</b>	<b>5.724,32 €</b>	<b>32.654,11 €</b>

Figura 8.7. Cuadro de Circulante próximos cinco años

*Fuente: Elaboración propia*

Del cuadro de circulante comprobamos como hay equilibrio entre los cobros y pagos, esta gestión hace que el circulante no penalice la liquidez, sino todo lo contrario, al ser las variaciones negativas, éstas representan financiación adicional, por lo que disminuye las necesidades de fondos.

## 8.6. ESTRATEGIA DE CAPITAL

La estrategia de capital se estructura en Política de Inversión y Financiación:

### Estrategia de Inversión:

La estructuramos en:

- Inversión de 100.000 euros para solicitud y materialización de patentes, se amortiza en 5 años.
- Reconocimiento I+D+i, se eleva al 25% de los gastos de personal, es una reclasificación de partidas, por lo que no supone necesidad de inversión.
- Inversión de 70.000 euros en adquisición de equipos para poder desarrollar los chips inteligentes, se amortizan en 10 años.

### Política de Financiación:

La necesidad de inversión asciende a 170.000 euros, que son cubiertos por una ampliación de capital con una prima de emisión de un 90%.

Con estos datos y los anteriores podemos construir el presupuesto de capital que refleja tanto las necesidades de inversión como la obtención de recursos tanto internos como externos.

	Previsiones				
	2022	2023	2024	2025	2026
<b>FONDOS</b>					
ADOS EN OPERACIONES					
ido intangible	100.000,00 €	- €	- €	- €	- €
ido material	70.000,00 €	- €	- €	- €	- €
UTILIZADO	170.000,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
ICIÓN FONDO MAN-	2.638,13 €	8.351,03 €	5.645,55 €	5.724,32 €	32.654,11 €
	- €	- €	- €	- €	- €
<b>DES</b>	<b>167.361,87 €</b>	<b>-8.351,03 €</b>	<b>-5.645,55 €</b>	<b>-5.724,32 €</b>	<b>-32.654,11 €</b>
<b>IDOS</b>					
RADOS EN OPERAC	41.416,67 €	80.791,67 €	91.666,67 €	98.791,67 €	257.041,67 €
	0,00 €	0,00 €			
	1.700,00 €	- €	- €	- €	- €
	168.300,00 €	- €	- €	- €	- €
	<b>211.416,67 €</b>	<b>80.791,67 €</b>	<b>91.666,67 €</b>	<b>98.791,67 €</b>	<b>257.041,67 €</b>
<b>DADES DE FONDOS</b>	<b>44.054,79 €</b>	<b>89.142,69 €</b>	<b>97.312,21 €</b>	<b>104.515,98 €</b>	<b>289.695,78 €</b>
<b>DADES DE FONDOS</b>	<b>44.054,79 €</b>	<b>133.197,49 €</b>	<b>230.509,70 €</b>	<b>335.025,68 €</b>	<b>624.721,46 €</b>

**Figura 8.8. Presupuesto de Capital próximos cinco años**

*Fuente: Elaboración propia*

Del cuadro anterior se observa como el proyecto es viable, ya que genera y obtiene los recursos suficientes para hacer frente a las necesidades.

Finalmente, y recopilando toda la información, podemos obtener los balances previsionales.

Balance de situación	ACTUAL	2022	2023	2024	2025	2026
<b>Inmovilizado</b>	<b>15.000,00 €</b>	<b>163.333,33 €</b>	<b>140.166,67 €</b>	<b>127.500,00 €</b>	<b>128.333,33 €</b>	<b>120.166,67 €</b>
Inmovilizado inmaterial	15.000,00 €	98.000,00 €	79.500,00 €	71.500,00 €	77.000,00 €	73.500,00 €
Inmovilizado material	- €	65.333,33 €	60.666,67 €	56.000,00 €	51.333,33 €	46.666,67 €
Otros activos fijos	- €	- €	- €	- €	- €	- €
<b>Activo circulante</b>	<b>10.000,00 €</b>	<b>75.753,42 €</b>	<b>176.074,20 €</b>	<b>300.016,55 €</b>	<b>441.683,22 €</b>	<b>776.091,32 €</b>
Existencias	- €	11.835,62 €	16.438,36 €	33.205,48 €	57.205,48 €	75.616,44 €
Deudores	- €	9.863,01 €	16.438,36 €	26.301,37 €	39.452,05 €	65.753,42 €
Otros activos líquidos	10.000,00 €	54.054,79 €	143.197,49 €	240.509,70 €	345.025,68 €	634.721,46 €
<b>Total activo</b>	<b>25.000,00 €</b>	<b>239.086,76 €</b>	<b>316.240,87 €</b>	<b>427.516,55 €</b>	<b>570.016,55 €</b>	<b>896.257,99 €</b>
<b>Fondos propios</b>	<b>25.000,00 €</b>	<b>214.750,00 €</b>	<b>272.375,00 €</b>	<b>351.375,00 €</b>	<b>451.000,00 €</b>	<b>699.875,00 €</b>
Capital suscrito	25.000,00 €	26.700,00 €	26.700,00 €	26.700,00 €	26.700,00 €	26.700,00 €
Otros fondos propios	- €	188.050,00 €	245.675,00 €	324.675,00 €	424.300,00 €	673.175,00 €
<b>Pasivo fijo</b>	<b>- €</b>	<b>- €</b>	<b>- €</b>	<b>- €</b>	<b>- €</b>	<b>- €</b>
Acreedores a L. P.	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Otros pasivos fijos	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Deuda Nueva	- €	- €	- €	- €	- €	- €
<b>Pasivo líquido</b>	<b>- €</b>	<b>24.336,76 €</b>	<b>43.865,87 €</b>	<b>76.141,55 €</b>	<b>119.016,55 €</b>	<b>196.382,99 €</b>
Deudas financieras	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Acreedores comerciales	- €	17.753,42 €	24.657,53 €	49.808,22 €	85.808,22 €	113.424,66 €
Otros pasivos líquidos	- €	6.583,33 €	19.208,33 €	26.333,33 €	33.208,33 €	82.958,33 €
<b>Total pasivo y capital propio</b>	<b>25.000,00 €</b>	<b>239.086,76 €</b>	<b>316.240,87 €</b>	<b>427.516,55 €</b>	<b>570.016,55 €</b>	<b>896.257,99 €</b>

**Figura 8.9. Balances Previsionales próximos cinco años**

*Fuente: Elaboración propia*

## VALORACIÓN

En la segunda parte del documento nos centraremos en el proceso de valoración y estableceremos un rango de valor razonable para el proyecto.

### 9. VALOR MÍNIMO

Para estimar este primer valor podemos utilizar el valor máximo entre el análisis estático, en concreto, nos centramos en el criterio de Activo Neto Total o Patrimonio Neto y el valor ofrecido por unos inversores hace varios años. En este caso la segunda opción es la que tomamos.

<b>PROPUESTA INVERSORES</b>	<b>150.000€</b>
---------------------------------	-----------------

**Tabla 9.1. Valor Mínimo**

*Fuente: Elaboración propia*

### 10. VALOR RAZONABLE

En este caso, utilizaremos un análisis dinámico, empleando el método de descuento de flujos, como hemos apuntado al principio del documento. Se calcula teniendo en cuenta el valor actual de los Cash-Flows libres que se estiman que la empresa será capaz de generar en los próximos. Para ello, debemos dividir el horizonte temporal en dos partes, por un lado, el valor actual de los flujos correspondientes a los años del horizonte temporal establecidos en el plan financiero (horizonte previsional de valoración); y por otro, los flujos que estimamos que se generarán en los años posteriores a ese horizonte temporal (horizonte no previsional de valoración).

A continuación, en base a la expresión matemática que define el valor estimado, voy a dividir el cálculo en varias partes, cada una correspondiente a cada epígrafe.

$$V = \sum_{t=1}^n \frac{CFL_t}{(1+K)^t} + \frac{VC_n}{(1+K)^n}$$

#### 10.1. CASH FLOW LIBRE PARA EL ACCIONISTA

El Cash-Flow libre del accionista representa la renta que la empresa potencialmente con el paso del tiempo puede entregar al accionista sin poner en peligro el equilibrio financiero de la empresa, la resumimos en la siguiente figura.



Horizonte	Previsional				
Años	2022	2023	2024	2025	2026
<b>Resultado Neto (BN)</b>	19.750,00 €	57.625,00 €	79.000,00 €	99.625,00 €	248.875,00 €
+ Amortización	29.166,67 €	30.666,67 €	35.166,67 €	44.166,67 €	53.166,67 €
- TRPPI	7.500,00 €	7.500,00 €	22.500,00 €	45.000,00 €	45.000,00 €
<b>CASH FLOW GENERADO</b>	41.416,67 €	80.791,67 €	91.666,67 €	98.791,67 €	257.041,67 €
- Inversiones Fijo	- 170.000,00 €	- €	- €	- €	- €
- Inversiones Circulante	2.638,13 €	8.351,03 €	5.645,55 €	5.724,32 €	32.654,11 €
+ Capacidad Endeudamiento	170.000,00 €	- €	- €	- €	- €
<b>= FCL accionista</b>	<b>44.054,79 €</b>	<b>89.142,69 €</b>	<b>97.312,21 €</b>	<b>104.515,98 €</b>	<b>289.695,78 €</b>

Figura 10.1. Cash Flow Libre próximos cinco años

Fuente: Elaboración propia

## 10.2. RIESGO O TASA DE ACTUALIZACIÓN

El riesgo representa la tasa a la que vamos a actualizar los flujos futuros, a mayor riesgo menor valor. Una tasa adecuada debe incorporar dos componentes:

- El riesgo del proyecto.
- El coste de oportunidad del mismo.

La estimación del riesgo o tasa de actualización la haremos según el modelo CAPM (Capital Asset Pricing Model), que es un método que integra los dos elementos anteriores. Por otro lado, la beta la estimaremos siguiendo la metodología de la beta cualitativa.

$$K_{\text{Proyecto}} = R_F + PR_M * \beta_t$$

La tasa de rentabilidad libre de riesgo (Rf), valor que he fijado en 1,5% porque es al que se pueden encontrar de media los bonos del tesoro.

La prima de riesgo, para la cual he utilizado un valor de 4,5% (Fernández, 2019).

En cuanto al cálculo de la beta cualitativa lo resumimos en la siguiente tabla.

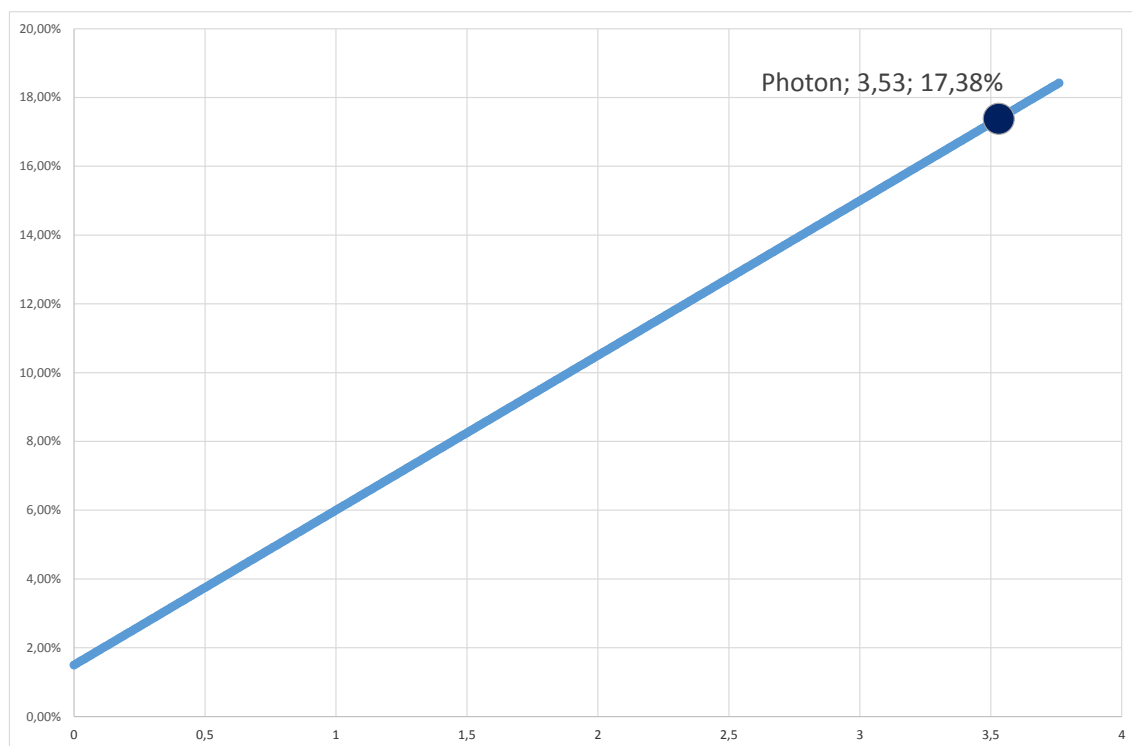
Negocio: sector / producto ...	5	20%
Tamaño	5	15%
Directivos	3	10%
Exposición a otros riesgos (divisas...)	2	5%
Riesgo país	2	2%

Flujos. Estabilidad.	5	5%
Endeudamiento asignado	1	15%
Liquidez de la inversión.	3	2%
Acceso a fuentes de fondos	4	10%
Socios	3	8%
Estrategia	3	8%

**Tabla 10.2. Beta Cualitativa**

*Fuente: Elaboración propia*

Aplicando la beta que alcanza un valor de 3,53 y la función del CAPM obtenemos una tasa de actualización, riesgo o rentabilidad mínima exigida de un 17,39%.



**Figura 10.3. Estimación tasa de riesgo**

*Fuente: Elaboración propia*

Si actualizamos los flujos de la figura 9.1 obtenemos los Cash-Flow libre de los primeros cinco años y los mostramos en la siguiente figura.

Horizonte	Previsional				
Años	2022	2023	2024	2025	2026
<b>Resultado Neto (BN)</b>	19.750,00 €	57.625,00 €	79.000,00 €	99.625,00 €	248.875,00 €
+ Amortización	29.166,67 €	30.666,67 €	35.166,67 €	44.166,67 €	53.166,67 €
- TRPPI	7.500,00 €	7.500,00 €	22.500,00 €	45.000,00 €	45.000,00 €
<b>CASH FLOW GENERADO</b>	41.416,67 €	80.791,67 €	91.666,67 €	98.791,67 €	257.041,67 €
- Inversiones Fijo	- 170.000,00 €	- €	- €	- €	- €
- Inversiones Circulante	2.638,13 €	8.351,03 €	5.645,55 €	5.724,32 €	32.654,11 €
+ Capacidad Endeudamiento	170.000,00 €	- €	- €	- €	- €
<b>= FCL accionista</b>	<b>44.054,79 €</b>	<b>89.142,69 €</b>	<b>97.312,21 €</b>	<b>104.515,98 €</b>	<b>289.695,78 €</b>
Factor actualización	0,85	0,73	0,62	0,53	0,45
Valor de Emp	37.530,17 €	64.693,48 €	60.163,01 €	55.046,83 €	129.980,78 €

Figura 10.4. Cash Flow Libre actualizados próximos cinco años

Fuente: Elaboración propia

### 10.3. VALOR DE CONTINUIDAD

Este valor es el correspondiente al horizonte no previsional de valoración, valor estimado a partir de 2026, es el que más incertidumbre genera, por ello vamos a optar por la opción más conservadora, suponer que a partir de 2026 el Cash-Flow libre del último año permanece constante.

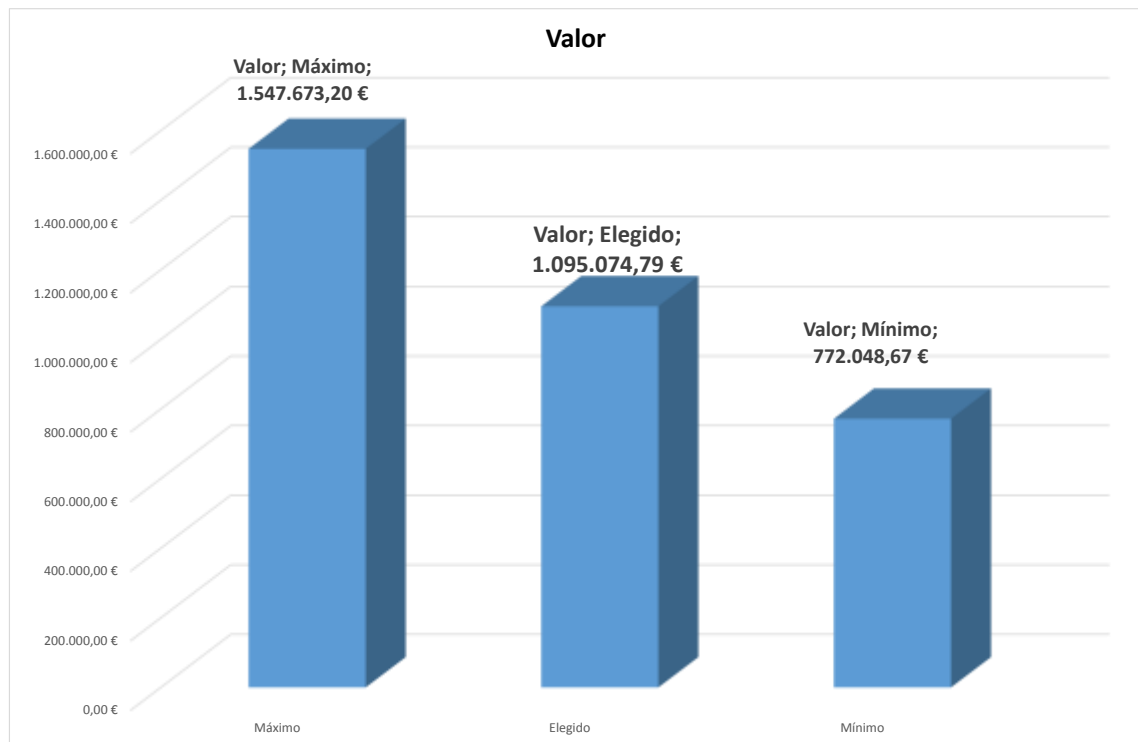
De esta manera, si integramos los distintos componentes el valor del proyecto asciende a 1.095.074,79 €.

Horizonte	Previsional					Perpetuidad del CF
Años	2022	2023	2024	2025	2026	No Previsional
<b>Resultado Neto (BN)</b>	19.750,00 €	57.625,00 €	79.000,00 €	99.625,00 €	248.875,00 €	2026-....
+ Amortización	29.166,67 €	30.666,67 €	35.166,67 €	44.166,67 €	53.166,67 €	
- TRPPI	7.500,00 €	7.500,00 €	22.500,00 €	45.000,00 €	45.000,00 €	
<b>CASH FLOW GENERADO</b>	41.416,67 €	80.791,67 €	91.666,67 €	98.791,67 €	257.041,67 €	
- Inversiones Fijo	- 170.000,00 €	- €	- €	- €	- €	
- Inversiones Circulante	2.638,13 €	8.351,03 €	5.645,55 €	5.724,32 €	32.654,11 €	VC <sub>2026</sub> → 1.666.351,67 €
+ Capacidad Endeudamiento	170.000,00 €	- €	- €	- €	- €	
<b>= FCL accionista</b>	<b>44.054,79 €</b>	<b>89.142,69 €</b>	<b>97.312,21 €</b>	<b>104.515,98 €</b>	<b>289.695,78 €</b>	
Factor actualización	0,85	0,73	0,62	0,53	0,45	
Valor de Emp	1.095.074,79 €	37.530,17 €	64.693,48 €	60.163,01 €	55.046,83 €	
					347.414,27 €	747.660,52 €

Figura 10.5. Valor del Proyecto

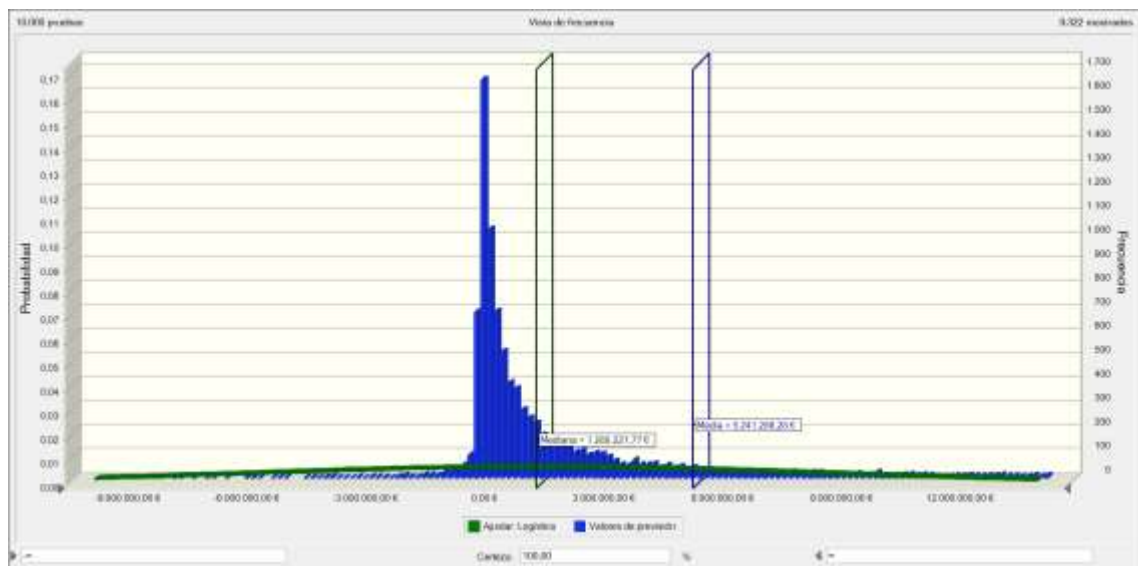
Fuente: Elaboración propia

Si tenemos en cuenta distintas tasas de riesgo, el rango de valor que proponemos lo mostramos en la siguiente figura.



*Fuente: Elaboración propia*

Si aplicamos Crystal Ball con Simulación de Montecarlo, comprobamos como el valor estimado se acerca al cálculo hecho en nuestro estudio como muestra el gráfico que adjuntamos.



*Fuente: Elaboración propia*

Si observamos la figura 6.6 podemos concluir que el valor de la tecnología se estima en un 50% del valor del proyecto, como mostramos en la siguiente tabla.

			MÍNIMO	RAZONABLE	MÁXIMO
VALOR DE LA EMPRESA			150.000,00€	1.095.074,79€	1.547.673,20€
VALOR DE LA TECNOLOGÍA			75.000,00€	547.537,40€	773.836,60€

**Figura 10.8. Resumen de Valoración del Proyecto/Tecnología**

*Fuente: Elaboración propia*

## 11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS.

El propósito de este informe es desarrollar plan de negocio y valorar el proyecto de empresa Photon y el conocimiento y/o tecnología que dicha empresa puede desarrollar y comercializar. A cerca de la valoración de conocimiento/intangible/tecnología hay que destacar que:

El valor del producto y/o know-how dependerá de la empresa que lo comercializa, así si lo hace Photon se acercará al valor que presentamos en el siguiente informe, si lo hiciera una empresa más consolidada el valor sería mayor ya que la dimensión y canales de distribución serían mucho mayores, así, a medida que el conocimiento va escalando va aumentando su valor. Por otro lado, el interés sobre el servicio por parte del mercado es alto como manifiestan los investigadores.

La empresa Photon y el sector en el que está enmarcado (tecnología LIDAR), nos indica que es una empresa y sector muy distinto a los tradicionales en muchos aspectos. Sectores tradicionales como la construcción, ganadería, manufacturero, se diferencia del que nos ocupa, donde se mezcla la electrónica, la tecnología láser, entre otras:

- Los productos y servicios de los sectores tradicionales son más tangibles, y por tanto más fácil de valorar, que los ofrecidos por estos sectores.
- El compromiso por la investigación es mucho mayor en el sector que nos ocupa que en los sectores tradicionales, como se puede comprobar en Photon.
- El potencial de innovación también es mayor en los sectores referenciados que en los tradicionales.
- El carácter multidisciplinar es mayor.
- La competitividad que puede imprimir nuestro proyecto encuadrado en los sectores tecnológicos y consultor es mucho mayor que los tradicionales.

Por ello, se debe tener en cuenta todos estos aspectos y evitar las comparaciones con empresas de sectores tradicionales, ya que no se comportan de la misma forma. Así, hay que destacar que nos hemos posicionado en un escenario conservador, aun sabiendo que la posición de BONES-3D está en un nivel más optimista del que reflejamos.

El **modelo de negocio** de **Photon** se sustenta sobre dos grandes pilares igual de importantes, cada uno en su justa medida:

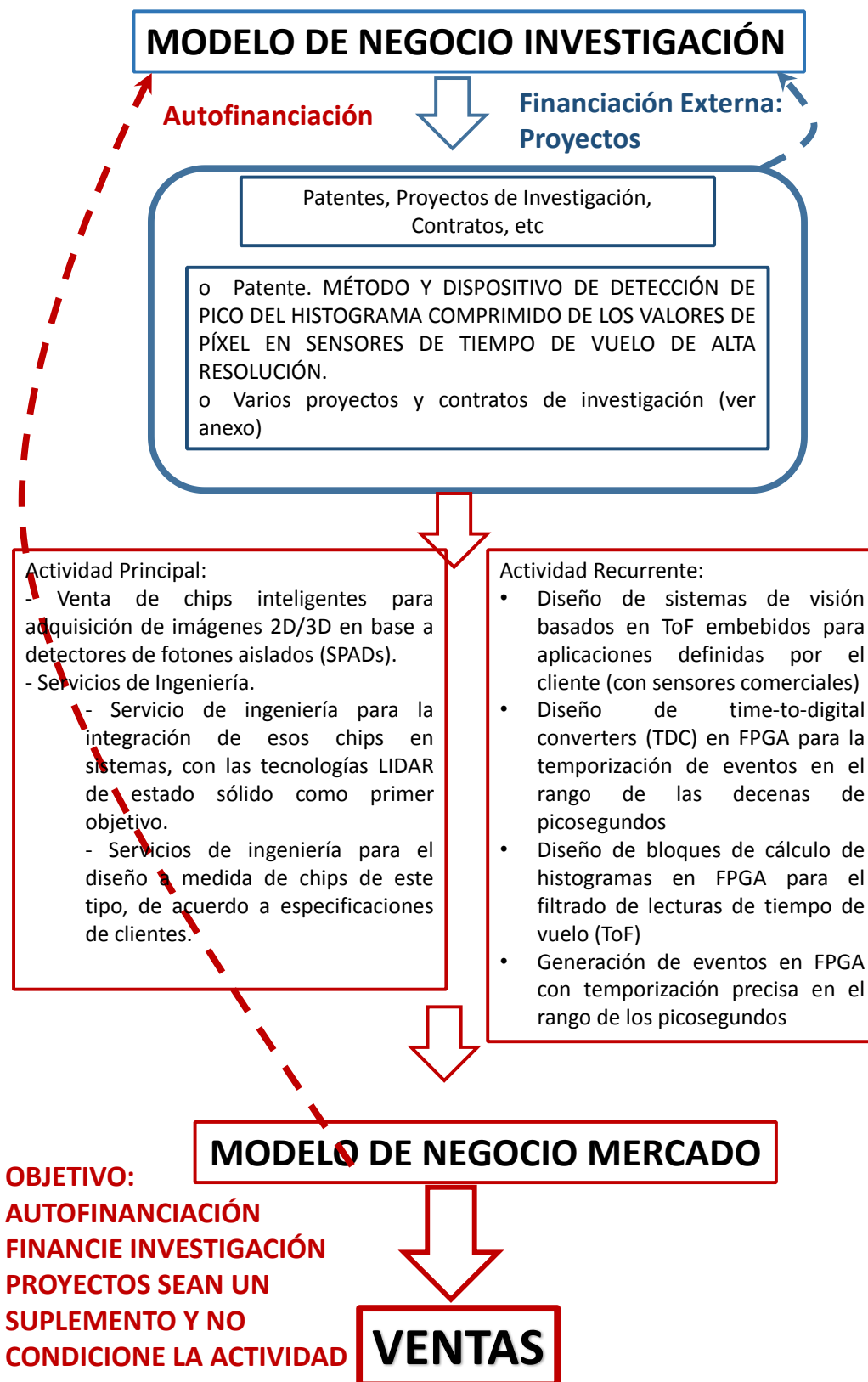
**1º- Modelo de negocio basado en la investigación:** Photon es un proyecto de empresa generadora de investigación. Esta investigación se basa en desarrollar chips inteligentes para adquisición de imágenes 2D/3D en base a detectores de fotones aislados (SPADs), servicios de ingeniería para la integración de esos chips en sistemas, con las tecnologías LIDAR y servicios de ingeniería para el diseño a medida de chips de este tipo. El desarrollo de esta tecnología está sustentado en la aplicación de la patente “Método y dispositivo de detección de pico del histograma comprimido de los valores de píxel en sensores de tiempo de vuelo de alta resolución”.

**2ª.- Modelo de Negocio basado en el mercado.** Una vez que Photon ha desarrollado su labor investigadora, Photon ha conseguido reunir un gestor y equipo de trabajo que consiga concienciar a sus investigadores de la importancia del mercado para Photon, consiguiendo acercar la investigación al mercado y buscando nuevos nichos que le permiten acceder a mercados que hace unos años eran impensables. Esto se consigue gracias a un gestor con capacidad de motivación y dirección y en algunas ocasiones, como lo exige el sector en el que está enmarcado, con un nivel de riesgo controlado, ya que sin esta actitud se pueden perder muchas oportunidades.

Debido a que para poder desarrollar en toda su plenitud el prototipo del proyecto y comenzar a rentabilizarlo se necesita un mínimo de dos años, el equipo de Photon ha desarrollado una serie de servicios y actividades más inmediatas que le permiten obtener ingresos recurrentes y, por lo tanto, financiar la actividad principal del proyecto hasta que ésta pueda comenzar a generar renta y permita su autofinanciación.

Estos servicios lo podemos resumir en:

- Diseño de sistemas de visión basados en ToF embebidos para aplicaciones definidas por el cliente (con sensores comerciales)
- Diseño de time-to-digital converters (TDC) en FPGA para la temporización de eventos en el rango de las decenas de picosegundos
- Diseño de bloques de cálculo de histogramas en FPGA para el filtrado de lecturas de tiempo de vuelo (ToF)
- Generación de eventos en FPGA con temporización precisa en el rango de los picosegundos.



*Figura 4.1. Modelo de Negocio Resumido*

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por promotores.



Lo importante de esta figura es compartir que la empresa tiene que depender de la innovación (I+D+i, gestión, etc), la financiación al principio viene de proyectos de investigación, ayudas públicas, etc, y del mercado, las ventas son fundamentales, a medio y largo plazo el futuro de la empresa debe depender de su propia autofinanciación y de la renta que genere y en menor medida de financiación externa, esta financiación debe ser importante cuando la empresa vaya creciendo y cambiando su infraestructura, cambios que necesitan de financiación externa. El resto del tiempo (la mayor parte) cuando no hay cambios sustanciales en la empresa, esta debe vivir de lo que genera, en base a esta idea debemos definir los escenarios futuros.

De esta manera, la estrategia de Photon para los próximos cinco años, la hemos definido en base a la unión de dos escenarios: escenario 1, información derivada del plan de negocio presentado por los investigadores; escenario 2, información y estrategia derivada del sector de referencia.

Así, en base a la estrategia planteada, podemos destacar los siguientes puntos:

- Basar su modelo de negocio en la innovación en I+D+i y gestionando su conocimiento de manera eficiente.
- Definir unos objetivos de ventas razonables que permita rentabilizar el negocio.

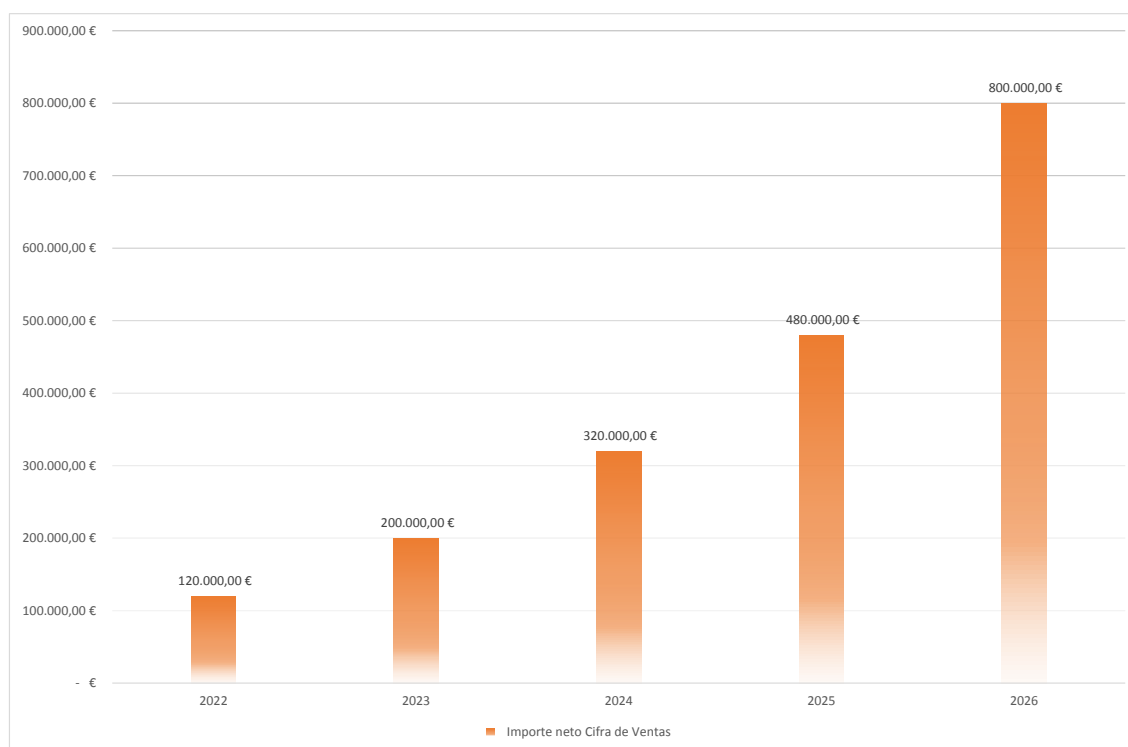
Así, el balance de creación de Photon, sería:

Balance de situación	Photon
<b>Inmovilizado</b>	<b>15.000,00 €</b>
Inmovilizado inmaterial	15.000,00 €
Inmovilizado material	
Otros activos fijos	
<b>Activo circulante</b>	<b>10.000,00 €</b>
Existencias	- €
Deudores	
Otros activos líquidos	10.000,00 €
<b>Total activo</b>	<b>25.000,00 €</b>
<b>Fondos propios</b>	<b>25.000,00 €</b>
Capital suscrito	25.000,00 €
Otros fondos propios	
<b>Pasivo fijo</b>	<b>- €</b>
Acreedores a L. P.	- €
Otros pasivos fijos	- €
Provisiones	
<b>Pasivo líquido</b>	<b>- €</b>
Deudas financieras	- €
Acreedores comerciales	
Otros pasivos líquidos	
<b>Total pasivo y capital propio</b>	<b>25.000,00 €</b>

Figura 8.1. Balance de Creación

*Fuente: Elaboración propia*

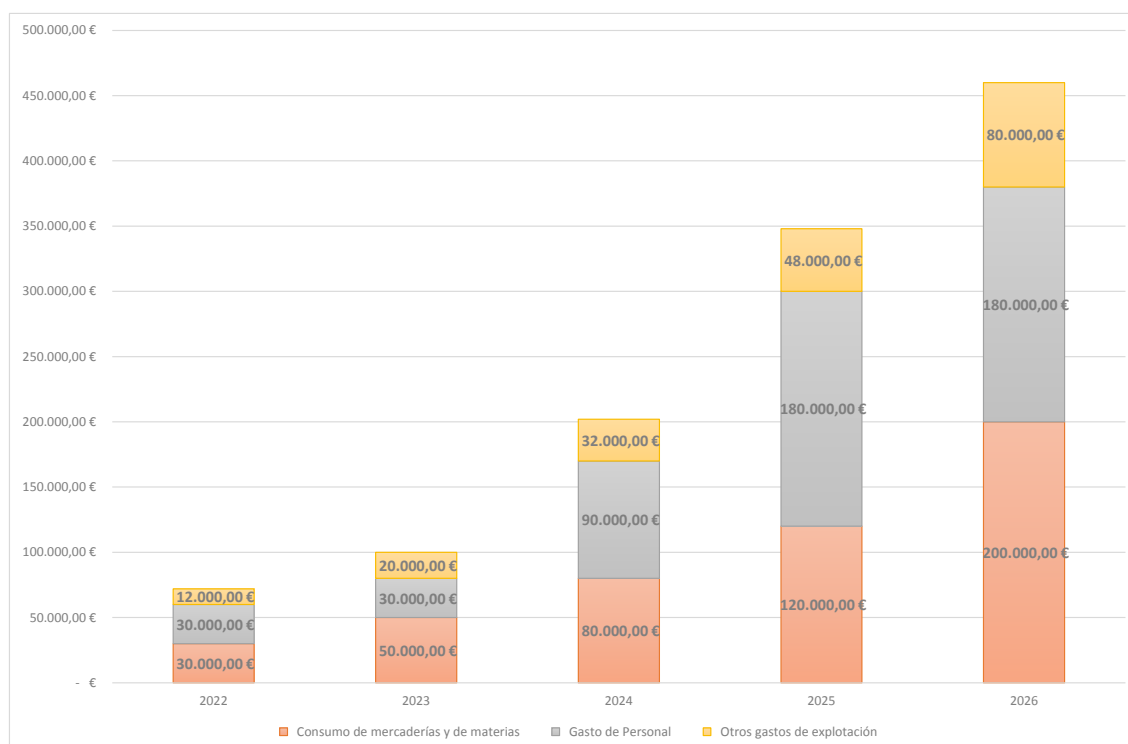
- El objetivo de ventas para los próximos 5 años proporcionado por los promotores y el sector sería.



**Figura 8.2. Ventas estimadas próximos cinco años**

*Fuente: Elaboración propia*

- Las evoluciones de los costes proporcionados por los promotores se resumen en la siguiente figura.



**Figura 8.3. Costes de Explotación estimados próximos cinco años**

Fuente: Elaboración propia

- El EBITDA o renta generada por la actividad sería.

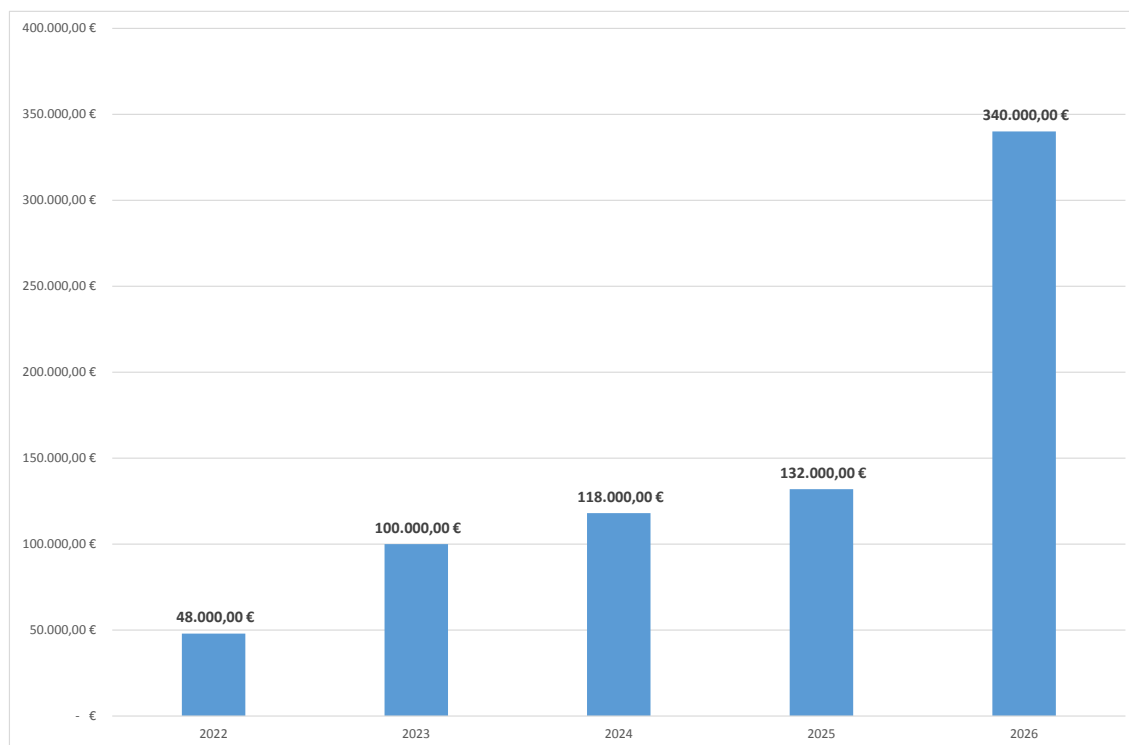


Figura 8.4. EBITDA estimado para los próximos cinco años

Fuente: Elaboración propia

- Las cuentas de resultados previsionales son los que se adjuntan:

Cuentas de pérdidas y ganancias	2022	2023	2024	2025	2026
Ingresos de explotación					
Importe neto Cifra de Ventas	120.000,00 €	200.000,00 €	320.000,00 €	480.000,00 €	800.000,00 €
Otros Ingresos Explot					
TRPPI	7.500,00 €	7.500,00 €	22.500,00 €	45.000,00 €	45.000,00 €
Consumo de mercaderías y de materias	30.000,00 €	50.000,00 €	80.000,00 €	120.000,00 €	200.000,00 €
Gasto de Personal	30.000,00 €	30.000,00 €	90.000,00 €	180.000,00 €	180.000,00 €
Otros gastos de explotación	12.000,00 €	20.000,00 €	32.000,00 €	48.000,00 €	80.000,00 €
<b>EBITDA</b>	<b>48.000,00 €</b>	<b>100.000,00 €</b>	<b>118.000,00 €</b>	<b>132.000,00 €</b>	<b>340.000,00 €</b>
CAT	29.166,67 €	30.666,67 €	35.166,67 €	44.166,67 €	53.166,67 €
<b>BAIT</b>	<b>26.333,33 €</b>	<b>76.833,33 €</b>	<b>105.333,33 €</b>	<b>132.833,33 €</b>	<b>331.833,33 €</b>
Ingresos financieros					
Gastos financieros	- €	- €	- €	- €	- €
<b>Resultado financiero</b>	<b>- €</b>	<b>- €</b>	<b>- €</b>	<b>- €</b>	<b>- €</b>
<b>Result. ordinarios antes Impuestos</b>	<b>26.333,33 €</b>	<b>76.833,33 €</b>	<b>105.333,33 €</b>	<b>132.833,33 €</b>	<b>331.833,33 €</b>
Impuestos sobre sociedades	6.583,33 €	19.208,33 €	26.333,33 €	33.208,33 €	82.958,33 €
<b>Resultado Actividades Ordinarias</b>					
Ingresos extraordinarios					
Gastos extraordinarios					
<b>Resultados actividades extraordinarias</b>					
<b>Resultado del Ejercicio</b>	<b>19.750,00 €</b>	<b>57.625,00 €</b>	<b>79.000,00 €</b>	<b>99.625,00 €</b>	<b>248.875,00 €</b>

Figura 8.6. Cuentas de Pérdidas y Ganancias próximos cinco años

Fuente: Elaboración propia

- Los balances previsionales serían:

Balance de situación	ACTUAL	2022	2023	2024	2025	2026
<b>Inmovilizado</b>	<b>15.000,00 €</b>	<b>163.333,33 €</b>	<b>140.166,67 €</b>	<b>127.500,00 €</b>	<b>128.333,33 €</b>	<b>120.166,67 €</b>
Inmovilizado inmaterial	15.000,00 €	98.000,00 €	79.500,00 €	71.500,00 €	77.000,00 €	73.500,00 €
Inmovilizado material	- €	65.333,33 €	60.666,67 €	56.000,00 €	51.333,33 €	46.666,67 €
Otros activos fijos	- €	- €	- €	- €	- €	- €
<b>Activo circulante</b>	<b>10.000,00 €</b>	<b>75.753,42 €</b>	<b>176.074,20 €</b>	<b>300.016,55 €</b>	<b>441.683,22 €</b>	<b>776.091,32 €</b>
Existencias	- €	11.835,62 €	16.438,36 €	33.205,48 €	57.205,48 €	75.616,44 €
Deudores	- €	9.863,01 €	16.438,36 €	26.301,37 €	39.452,05 €	65.753,42 €
Otros activos líquidos	10.000,00 €	54.054,79 €	143.197,49 €	240.509,70 €	345.025,68 €	634.721,46 €
<b>Total activo</b>	<b>25.000,00 €</b>	<b>239.086,76 €</b>	<b>316.240,87 €</b>	<b>427.516,55 €</b>	<b>570.016,55 €</b>	<b>896.257,99 €</b>
<b>Fondos propios</b>	<b>25.000,00 €</b>	<b>214.750,00 €</b>	<b>272.375,00 €</b>	<b>351.375,00 €</b>	<b>451.000,00 €</b>	<b>699.875,00 €</b>
Capital suscrito	25.000,00 €	26.700,00 €	26.700,00 €	26.700,00 €	26.700,00 €	26.700,00 €
Otros fondos propios	- €	188.050,00 €	245.675,00 €	324.675,00 €	424.300,00 €	673.175,00 €
<b>Pasivo fijo</b>	<b>- €</b>	<b>- €</b>	<b>- €</b>	<b>- €</b>	<b>- €</b>	<b>- €</b>
Acreedores a L. P.	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Otros pasivos fijos	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Deuda Nueva	- €	- €	- €	- €	- €	- €
<b>Pasivo líquido</b>	<b>- €</b>	<b>24.336,76 €</b>	<b>43.865,87 €</b>	<b>76.141,55 €</b>	<b>119.016,55 €</b>	<b>196.382,99 €</b>
Deudas financieras	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Acreedores comerciales	- €	17.753,42 €	24.657,53 €	49.808,22 €	85.808,22 €	113.424,66 €
Otros pasivos líquidos	- €	6.583,33 €	19.208,33 €	26.333,33 €	33.208,33 €	82.958,33 €
<b>Total pasivo y capital propio</b>	<b>25.000,00 €</b>	<b>239.086,76 €</b>	<b>316.240,87 €</b>	<b>427.516,55 €</b>	<b>570.016,55 €</b>	<b>896.257,99 €</b>

Figura 8.9. Balances Previsionales próximos cinco años

Fuente: Elaboración propia

- La tasa de actualización la definimos en un 17,39%, estimada en función de la beta cualitativa.
- El ratio de intangible que le aplicamos al valor de la empresa para calcular el valor del conocimiento es de un 50%, ratio que sale de las empresas del sector y las EBC valoradas de este mismo perfil.

Así, si aplicamos el método de descuento de flujos, en el que la renta la identificamos con el Cash-Flow libre para el accionista (renta que puede repartir la empresa sin poner en peligro su equilibrio financiero), el riesgo lo estimamos en función del modelo CAPM modificado (Capital Asset Price Model) donde el riesgo lo equiparamos a la rentabilidad media anual que le va exigir un inversor a la empresa y teniendo en cuenta los objetivos anteriormente definidos, el valor de Photon en función de su capacidad de generar renta y riesgo se puede situar entre distintos intervalos según sus objetivos de ventas, establecidos en función de las ventas de las empresas del sector en sus primeros ocho años de vida.

Para estos escenarios el resumen de la valoración lo podemos ver en la siguiente tabla.

	MÍNIMO	RAZONABLE	MÁXIMO
<b>VALOR DE LA EMPRESA</b>	150.000,00€	1.095.074,79€	1.547.673,20€
<b>VALOR DE LA TECNOLOGÍA</b>	75.000,00€	547.537,40€	773.836,60€

### Figura 10.8. Resumen de Valoración del Proyecto/Tecnología

*Fuente: Elaboración propia*

Por lo cual, se puede concluir que se ha cumplido con los objetivos perseguidos con la elaboración del modelo de negocios para la EBC Photon cuya misión era la de facilitar la comunicación de la idea de negocio a posibles inversores, socios, etcétera, para así poder conseguir la inversión necesaria para el desarrollo y arranque de sus actividad. Cumpliendo también los objetivos específicos planteados como eran:

- Sintetizar el modelo de negocio en dos vertientes: una resumida basada en la investigación y el mercado, y la otra vertiente basada en la metodología Canvas.
- Analizar el sector de referencia tanto cuantitativa como cualitativamente.
- Definir un escenario con unas estrategias para los próximos 5 años.
- Comprobar la viabilidad del proyecto.
- Valorar el proyecto.
- Establecer un rango de valor razonable para el proyecto.

Respecto a las **recomendaciones futuras**, la principal de ellas es que este tipo de informes se deben de actualizar de manera constante debido al cambio de los estados contables de las compañías que conforman el sector de referencia. Lo cuál hará que los distintos tipos de análisis llevados a cabo (análisis de la estructura económica, de la estructura financiera y de la cuenta de resultados) se vean modificados y no expresen una situación real. Estos cambios podrán suponer la adopción de distintas estrategias al igual que una diferente valoración del proyecto pudiendo dar lugar a la no fiabilidad de este.

También hay que destacar que la actualización constante de este tipo de informes no solo hace referencia a los estados contables, sino a la tecnología necesaria para el desarrollo de la actividad (en el caso de Photon es la tecnología LiDAR), ya que este tipo de tecnologías destinada principalmente al sector automovilístico está sufriendo un gran avance en los últimos años. Es decir, se puede producir un gran cambio en esta tecnología que necesitare de una mayor inversión para poder competir con el resto de las compañías del sector, pudiendo hacer inviable este proyecto.

## ANEXO 1: COMPARATIVA DE SISTEMAS LIDAR PARA AUTOMOCIÓN

[illegible]

## ANEXO 2: EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE LOS SENSORES CMOS-SPAD EN EL IMSE-CNM

Vendor	Model	Year	Type	Range (m)	2-resolution (cm)	Wavelength (nm)	H (°)	V (°)	Hrs	Vres	PPS	FPS	Size (mm3)	Weight (g)	Power (W)	Price	Status
Velodyne	Puck lite	2018	Scanning, 16 channels	100	3	903	360	30	0.1	2	3.00E+05	20	103 x 103 x 72	590	8	\$4,000.00	On sale
Hokuyo	UXM-30LX-HWA	2014	Scanning, 1 Channel	80	5	905	190	90	0.125	3	3.04E+04	20	124 x 126 x 150	1200	30	\$4,400.00	On sale
Robosense	RS-BPpearl		Scanning	100	3	905	360	90	0.4	2.8	5.76E+05	20	200 215 x 130 x 286	920	13	\$4,200.00	
Sick	LMS100		Scanning, 1 Channel	20	3	905	270		0.5	2.70E+04	50	102 x 152 x 105	1100	12	\$4,240.00	On sale	
Leddar Tech	Leddar IS16	2019	Flash solid-state, 16 channels	50	5	940	48	6	3	6	8.00E+02	50	116 x 86 x 70	430	5.6	\$1,035.00	On sale??
TeraRanger	TeraRanger Evo 60m		SPAD/VCSEL, STM VLS310X?	60	4	940	15	15	15	15	2.40E+02	29	29 x 29 x 22	12	1.65	\$146.00	On sale
TeraRanger	TeraRanger 64px		Flash solid-state, STM?	5	3	940	15	15	1.875	1.88	8.32E+03	130	29 x 29 x 22	15	1.25	\$146.00	On sale
TeraRanger	30C arm 80 x60	2019	Flash solid-state, STM?	4	4	940	74	57	0.925	0.95	1.44E+05	30	54 x 53 x 24	89	4	\$295.00	On sale
Siamtec	RPidar A1	2013	Scanning LRF	12	0.2	785	360		1		8.00E+03	5.5	98.5 x 70 x 60	170	2	\$830.00	
Siamtec	RPidar S1	2013	Scanning LRF	40	3	905	360		0.4		9.20E+03	10	55.5 x 55.5 x 51	105	8.75	\$120.00	Discontinued
Scanase	Sweep v1.0	2017	Scanning LRF	40	1		360	0.5	1.67	0.5	1.08E+03	5	65 x 65 x 61.9	120	3.25	\$200.00	On development
Photonis	PoC-1	2020	SPAD/VEEL (multijunction)	6.3	3	850-905	24	13	1	1.1	2.88E+03	10					Projected
Photonis	Prototype	2021	SPAD/VEEL (multijunction)	50	3	850-905	100	30	0.5	1	1.20E+05	20					

(1) Para el frame rate objetivo (20/fps) totalmente en paralelo es necesaria una exposición de 50ms, en las mismas condiciones de sensibilidad que en la prueba de concepto. Esto hace que la SNR necesaria sea 0.06. Con una iluminación de background indoor, habrá que tener una potencia de la señal 2 veces superior para seguir teniendo la misma SNR. Esto se podría conseguir con un láser 2 veces más potente, o una distancia de 50m. También mejorando la FOP y/o el FF

(2) Array de 200 x 30 pixeles

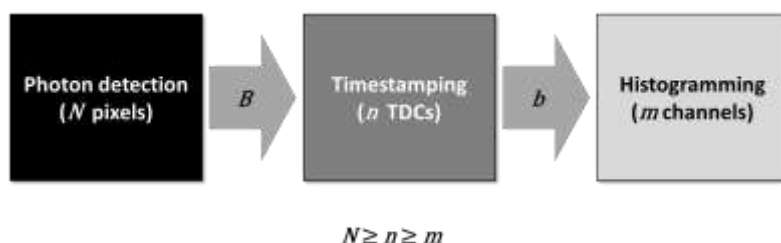
(3) Misma resolución temporal del TDC



### ANEXO 3: EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE LOS SENSORES CMOS-SPAD EN EL IMSE-CNM

Los diodos de avalancha en modo Geiger (SPAD) son dispositivos capaces de **detectar la llegada de un único fotón**. En combinación con una fuente de luz pulsada (emisor), permiten determinar con precisión el tiempo de vuelo (ToF) de los fotones y por tanto la distancia a la que se encuentran los objetos en los que se han reflejado. Estos SPADs pueden fabricarse en tecnologías standard de silicio para sensores de imagen CMOS, integrando dentro del mismo chip convertidores de tiempo a digital (TDC) para determinar con precisión el instante de llegada de los fotones. Este tipo de sensores podría jugar un papel fundamental en la **implementación efectiva del LiDAR de estado sólido**, llamado a reemplazar los sistemas actuales basados en costosos elementos mecánicos de escaneo.

La operación de un **sensor CMOS-SPAD para LIDAR**, basado en la estimación directa del ToF, viene descrita por tres bloques funcionales: el detector de fotones, el marcado del tiempo (timestamping) y el cálculo del histograma de las lecturas de cada píxel:



Los retos tecnológicos que se afrontan en el desarrollo de un sensor de este tipo son muy variados. En primer lugar, es necesario diseñar estructuras que maximicen la eficiencia en la detección, con el fin de reducir la potencia de la iluminación activa y mejorar el alcance. Hace falta diseñar también TDCs que sean a la vez precisos y compactos. Y por último, es necesario el filtrado de los datos, ya que no todas las lecturas son correctas debido a la estadística inherente a la detección de fotones individuales.

El punto de partida de nuestro proyecto son tres chips CMOS-SPAD y unos bloques de procesamiento de señal y cómputo del histograma implementados en una FPGA, previamente diseñados y prototipados por nuestro grupo. Los chips fueron diseñados como validación de las técnicas que hemos ido desarrollando. No serían directamente utilizables como un sensor para LIDAR de estado sólido, pero muestran las destrezas del grupo en este campo. El primer chip contiene una matriz de  $8 \times 8$  píxeles. Cada píxel contiene un SPAD y el circuito de extinción de la avalancha necesario para que opere. El TDC se implementó fuera del chip y el canal de procesamiento de datos se implementó en software. Fue nuestra primera experiencia con SPAD compatibles con la tecnología CMOS. Las principales limitaciones que encontramos fueron un ruido muy alto, o sea, una tasa de cuentas a oscuras (DCR) del orden de los 20kHz, y una probabilidad de detección de fotones (PDP) muy reducida a las longitudes de onda que nos interesan, alrededor del 2% a los 905nm. Esto resultó en una relación señal-ruido (SNR) extremadamente baja. Además, la falta de paralelismo entre los bloques funcionales desembocó en una velocidad de refresco de la imagen muy baja.

El segundo chip contenía una matriz de  $64 \times 64$  píxeles. En este caso, cada píxel incorporaba un SPAD con un circuito de extinción activo, un TDC y una memoria para almacenar la lectura actual de ToF. Estas lecturas se volcaban a un bloque de cómputo del histograma implementado en una FPGA. De nuevo un PDP reducido y un DCR grande fueron las principales limitaciones, junto con el cuello de botella que se producía al tener un solo canal de procesamiento de datos.

En este punto identificamos dos líneas de progreso diferentes e hicimos algunas contribuciones relevantes para el punto de partida de este proyecto:

- Puesto que la operación del sistema completo está condicionada por la baja SNR obtenida en tecnologías CMOS estándar, optamos por **construir los SPADs en una tecnología de sensores de imagen CMOS (CIS)**. La tecnología CIS está optimizada para la absorción de fotones en el visible y el infrarrojo cercano, así como para mostrar una baja corriente a oscuras. Hoy en día, contamos con SPADs que poseen una PDP del 10% a los 850nm y una DCR por debajo de los 100Hz.
- Por otro lado, en vista de la baja SNR, se hace necesario proponer técnicas eficientes para el diezmado de los datos, ya que el número de muestras que se requieren a priori para una medida fiable es muy elevado (entre 1k y 10k), lo cual necesitaría una memoria enorme. En esta línea hemos diseñado, prototipado y patentado un **esquema de cómputo del histograma con una memoria reducida**.

En resumen, nuestro punto de partida se compone de **experiencias exitosas en los tres bloques funcionales** mencionados:

- **SPADs de bajo ruido** en tecnología CIS, con sensibilidad mejorada en el infrarrojo cercano (850 y 905nm, que son las longitudes de onda de interés para el LiDAR).
- Un **TDC compacto** incorporado dentro del píxel en tecnología CMOS estándar, que permite determinar el instante exacto de la captura con una resolución temporal en el rango de los 100ps.
- Y un bloque hardware para la **aceleración del cómputo del histograma** en FPGA (patentado).

En la prueba de concepto que estamos realizando, vamos a combinar estos elementos para implementar una unidad receptora de LiDAR a escala, con el fin de:

- Anticipar cuál será el rendimiento de una versión integrada del sistema.
- Establecer la ruta tecnológica para la mejora progresiva de las prestaciones.
- Realizar una comparación precisa con los posibles competidores.

## BIBLIOGRAFÍA

Arjona, K. (2015, 16 octubre). “Indicadores Innovación: Investment Readiness Level”. *Calidad y Tecnología*. <https://www.calidadytecnologia.com/2015/10/TRL-IRL-Innovacion-Lean-StartUp-2.html>

Colaboradores de Wikipedia. (2021, mayo 5). “LIDAR”. *Wikipedia, la enciclopedia libre*. <https://es.wikipedia.org/wiki/LIDAR>

Colaboradores de Wikipedia. (2021, febrero 17). “Nivel de madurez tecnológica”. *Wikipedia, la enciclopedia libre*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Nivel\\_de\\_madurez\\_tecnol%C3%B3gica](https://es.wikipedia.org/wiki/Nivel_de_madurez_tecnol%C3%B3gica)

D. Krambeck (2016, septiembre) “The Affordable LiDAR Movement Researchers Aim to Drastically Reduce Sensor Costs”, *All About Circ.*

Debray, A.; Pierrick, B. (2019, marzo). “LiDAR for automotive and industrial applications 2019”. *Yole Développement*.

E. Granath (2020, marzo), “LiDAR systems: costs, integration, and major manufacturers”, *MES Insights*.

Fernandez (2019, 17 mayo), “CAPM: An Absurd Model”. *IESE Business School*

I. Wagner (2020, 5 octubre), “Automotive LiDAR market size worldwide between 2019 and 2025, by key segment” [Gráfica], *Statista*. Recuperado el 5 de junio de 2021, de <https://www.statista.com/statistics/880119/global-automotive-lidar-market-size/#statisticContainer>

Milián, M. (2021, 10 junio). “Cómo hacer un plan de negocios [+GUÍA descargable]”. *Lanzadera*. <https://lanzadera.es/como-hacer-plan-negocios/>

R. Kapuska (2019, noviembre), “ADI: The collapse of the LiDAR Processing chain”, *LIDAR Automotive Conf.*

R. Thusu (2012, 1 febrero), “The Growing World of the Image Sensors Market”, *Fierce Electronics*.

Song Su-hyun (2020, junio) “[Chew on I.T.] “What makes up smartphone prices?”, *The Korea Herald*.

Statista Research Department (2021, 5 febrero), “Number of LiDAR patents published by country 2018” [Gráfica], *Statista*. Recuperado el 5 de junio de 2021, de <https://www.statista.com/statistics/1007892/worldwide-lidar-patents-by-country/>

Terol, M. (2021, 17 marzo). “Vehículos autónomos: innovaciones, niveles y características”. *Blogthinkbig.com*. <https://blogthinkbig.com/conoce-los-niveles-de-los-vehiculos-autonomos-y-sus-caracteristicas>